C. D. U. 625.8.036 : 624.041.63

A UTILIZAÇÃO DA LINHA DE INFLUÊNCIA, OBTIDA EM ENSAIOS DE CARGA COM PNEU NA DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS*

por ORLANDO d'ALMEIDA PEREIRA

Engenheiro Civil, Especialista do Serviço de Geotecnia, Chefe da Divisão de Estradas e Aeródromos do L.N.E.C.

RESUMO

Apesar da apreciável evolução dos conhecimentos, que ùltimamente se tem verificado, no campo da Mecânica dos Pavimentos, os problemas do dimensionamento de tais estruturas, e do seu reforço, não se encontram ainda resolvidos de modo completo.

Por isso, além da investigação laboratorial no campo das propriedades dos materiais, tem-se procurado desenvolver a observação sistemática de estradas, e de «troços experimentais», visto considerar-se que o estudo do seu comportamento contribuirá poderosamente para a solução do problema em causa, quando acompanhado da determinação das respectivas características estruturais.

No presente trabalho descrevem-se em primeiro lugar, resumidamente, as técnicas adoptadas e desenvolvidas nos últimos anos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no domínio da observação e análise da geometria da superfície dos pavimentos (perfis longitudinal e transversais, fendilhamento) ou seja, da apreciação das deformações permanentes destes, e no domínio da avaliação da capacidade de suporte dos pavimentos, isto é, da caracterização do comportamento estrutural do conjunto pavimento-solo de fundação, num dado instante, por meio de ensaios de carga com placa ou com pneu. Apresenta-se em seguida, com relevo especial, o método recentemente desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, que permite determinar as características estruturais do conjunto pavimento-solo de fundação, a partir da interpretação dos registos dos ensaios de carga com pneu (deflectogramas), e que parece constituir, no momento presente, um importante passo sobretudo no sentido da resolução do problema do dimensionamento do reforço de pavimentos.

SYNOPSIS

However remarkable may have been the evolution of knowledge in the field of Pavement Mechanics, the design and strengthening of these structures still raise problems whose solution is not entirely satisfactory.

In order to meet these difficulties, laboratory research has been applied to the properties of the materials. Moreover an attempt has been made to develop systematic observation of roads and of experimental road sections since the study of their behaviour is expected to give a powerful contribution to the solution of such problems if it is complemented by the determination of the pavement structural characteristics.

In the present work, firstly a brief description is made of the techniques the Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) has adopted and developed for the last few years in the domain of the observation and analysis of the geometry of pavement surfaces (longitudinal and cross sections, crazing), i. e. techniques for the assessment of pavement permanent deformations. In addition other LNEC's techniques are described which allow the bearing capacity of a pavement to be evaluated i. e. the characterization of the structural behaviour of the set soil-pavement, in a given moment, by means of plate bearing tests or tire tests. Subsequently especial consideration is given to a LNEC's method by which the structural characteristics of the set pavement-foundation soil can be determined on the basis of the interpretation of tire test readings (influence lines of reversible settlements). At present such a method seems likely to be an important step towards the solution of the problem of pavement strengthning design.

1 — INTRODUÇÃO

O rápido aumento do tráfego e das cargas por eixo dos veículos automóveis, verificado nos últimos anos, deu lugar não só a diversos problemas no domínio da Engenharia de Tráfego, mas também a uma notável evolução e desenvolvimento da Mecânica dos Pavimentos, sobretudo no que se refere a métodos de dimensionamento quer de pavimentos quer do reforço destes.

* Artigo recebido na redacção em 30/7/970.

Apesar disso, o comportamento estrutural das estradas não está ainda estudado de forma completa. Com efeito, embora fosse desejável poder determinar as tensões e deformações a que se encontram sujeitas as suas camadas, sob a acção do tráfego e condições própria do meio, dispõe-se apenas de ábacos ou tabelas que permitem determinar com facilidade tensões e deformações nalguns pontos normalmente situados na vertical do centro duma força circular uniforme, fixa, aplicada perpendicularmente na superfície de sistemas constituídos por poucas camadas, a que se atribuem características de elasticidade e certos tipos de comportamento (Quadro I).

No Laboratório Nacional de Engenharia Civil as questões relativas ao dimensionamento de pavimentos estão a ser estudadas há vários anos, tendo sido desenvolvidos, nomeadamente, um método de análise das deformações e tensões devidas ao tráfego, nas diversas camadas dos pavimentos [1], e um método de cálculo dos assentamentos da superfície de pavimentos, fora do centro da carga [2].

Além dos progressos feitos nos métodos de dimensionamento que se apoiam em considerações mais ou menos teóricas, baseadas em soluções analíticas rigorosas ou aproximadas das equações que traduzem um tipo de comportamento atribuído ao conjunto pavimento-solo de fundação, desenvolveram-se ainda métodos de outro tipo, que aproveitam fundamentalmente a experiência existente, e sobretudo a que provém da observação de importantes troços experimentais, como é o caso do ensaio AASHO [3]. Nestes últimos incluem-se os métodos do Asphalt Institute [4], do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées [5] e a maior parte dos que procuram resolver exclusivamente o problema do reforço de pavimentos (Métodos da Canadian Good Roads Association, Método Californiano, Método da Societé Colas, Método Francês, etc.) [6].

Contudo, apesar da evolução de conhecimentos verificada, é geralmente aceite que o dimensionamento de pavimentos está ainda longe de se encontrar resolvido, dada a sua grande complexidade. Assim, por um lado, o comportamento dos materiais é ainda mal conhecido, em especial no que se refere à fadiga, aspecto de enorme importância nas estruturas rodoviárias, que se destinam a suportar um elevadíssimo número de aplicações de carga; por outro lado, as relações empíricas entre as solicitações, a constituição, e o comportamento dos conjuntos pavimento-solo de fundação, estabelecidas já nalguns casos, têm de ser verificadas em condições distintas daquelas para que foram deduzidas, antes de poderem ser legìtimamente aplicadas noutros casos.

Por isso, além do estudo laboratorial das características e comportamento dos materiais, em modelo reduzido ou à escala natural [7], é indispensável observar de forma sistemática o comportamento das estradas e de troços experimentais destinados ao estudo de certos problemas específicos [8].

Esta observação deve incluir o estudo das condições climáticas e de tráfego, assim como das características do pavimento e solo de fundação, e a análise da sua evolução no tempo, e ter também em conta as obras de conservação empreendidas. As características do pavimento e solo de fundação cuja análise se tem revelado mais viável e promissora são o «aspecto superficial» (fendilhamento, desagregação, remendos, etc.), a «geometria da superfície de rolamento» (modificações dos perfis longitudinal e transversais), as quais permitem caracterizar as deformações permanentes da estrada, e por outro lado a «constituição do conjunto pavimento-solo de fundação» (determinada por sondagem, até profundidades de cerca de 1 metro abaixo do pavimento, seguida de identificação geotécnica do solo) e as suas «características mecânicas», num dado instante (relações entre pressões e deformações, capacidade de suporte, etc.).

As técnicas de observação de tais características têm evoluído de forma importante, nos últimos tempos, encontrando-se em uso, nos diversos países, instrumentos bastante diversificados para a observação da geometria da superfície dos pavimentos e para o estudo do comportamento mecânico do conjunto pavimento-solo de fundação, assim como métodos da interpretação dos resultados de tais observações.

No presente trabalho figuram alguns aspectos da experiência adquirida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil nestes domínios, com especial relevo para a determinação das características estruturais do conjunto pavimento-solo de fundação, a partir da interpretação das linhas de influência obtidas em ensaios de carga com pneu.

2 — OBSERVAÇÃO DE PERFIS LONGITUDINAIS

A necessidade da observação dos perfis longitudinais tem sido reconhecida por diversos autores ligados quer à engenharia rodoviária quer à indústria automóvel.

Embora a evolução do perfil longitudinal esteja em grande parte relacionada com o comportamento estrutural do conjunto pavimento-solo de fundação, ainda não se estabeleceu uma ligação clara entre ambas as coisas e, por isso, considera-se geralmente que as indicações dadas pela análise dos perfis longitudinais serão predominantemente índices de comodidade e segurança de utilização da via, e, portanto, úteis no estudo da necessidade de regularização da camada de desgaste, podendo servir também quer para detectar a presença de zonas localizadas de comportamento anómalo, que necessitem saneamento, quer para separar um troço de estrada em segmentos de comportamento distinto [9].

A observação dos perfis longitudinais pode realizar-se através de inúmeros métodos [10]. Nalguns, procura-se obter um registo tão próximo quanto possível do perfil longitudinal real, enquanto outros visam apenas determinar índices que correspondem ao grau de irregularidade do pavimento.

No nosso país utiliza-se de momento, com este fim, um perfilómetro de fácil manuseio e construção económica (Fig. 1), constituído fundamentalmente por duas rodas montadas à distância de 2,5 m («base»), num quadro, e que se fazem percorrer o perfil a observar, manualmente; uma terceira roda («apalpadora»), montada a meia distância das primeiras, desloca-se livremente numa direcção aproximadamente vertical. Os deslocamentos desta última («flechas») são registados automáticamente, em escala natural, numa tira de papel arrastada por um mecanismo apropriado, a uma velocidade de 1/100 da velocidade de translação do instrumento.

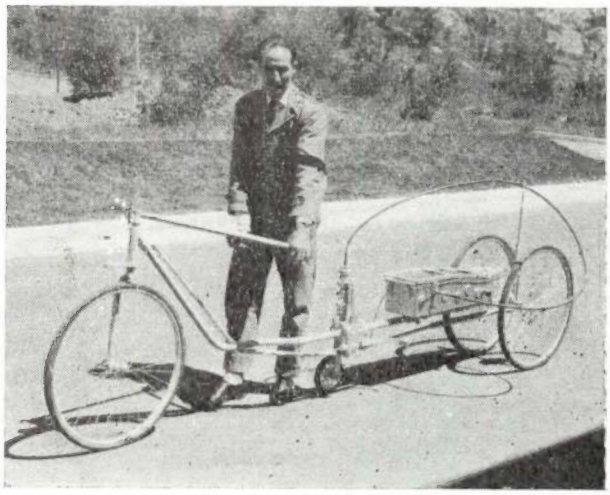


Fig. 1 — Perfilógrafo longitudinal

O registo obtido, que é uma transformada do perfil real, apresenta limitações importantes pois o aparelho não assinala ondulações de comprimento de onda múltiplo par do comprimento da «base». Por outro lado, embora não altere os comprimentos de onda das ondulações que assinala, multiplica as flechas reais por um factor que varia com a relação entre o comprimento da «base» e o comprimento de onda; regista as irregularidades por três vezes, e com uma grandeza que depende do diâmetro da roda apalpadora.

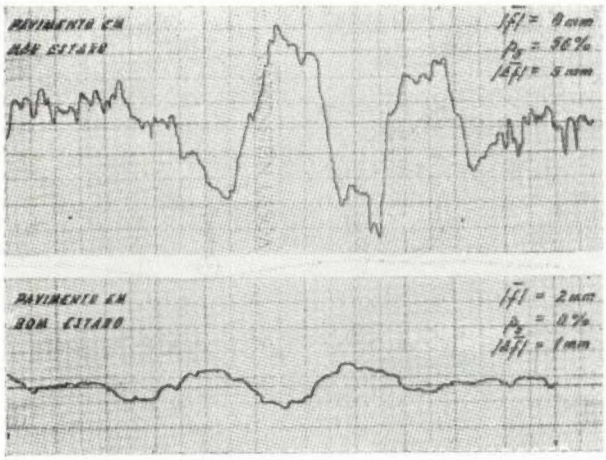


Fig. 2 — Perfilogramas de pavimentos de regularidades diferentes

O aparelho tem porém boa reprodutibilidade, e os registos traduzem o estado dos pavimentos, de modo satisfatório, no que diz respeito à regularidade superficial (Fig. 2).

A interpretação dos registos tem sido feita por vários processos, com o intuito de verificar o que melhor traduz o grau de irregularidade dum pavimento numa dada época e a evolução sofrida entre épocas diferentes. Fundamentalmente têm-se seguido dois caminhos: um baseia-se na análise da distribuição das inclinações das tangentes ao diagrama, ou, o que é análogo, dos incrementos

de abcissa de valor constante $|\Delta f|$; no outro analisa-se a distribuição das ordenadas do diagrama medidas em relação à linha média (linha de flechas nulas $|f|$ (11). Em qualquer dos casos a distribuição tem sido definida pelo desvio-médio. Tem-se utilizado também a percentagem de flechas p_5 situadas fora dos limites $\pm$ 0,5 cm.

Embora o aparelho tenha limitações apreciáveis, não foi até agora viável adoptar outro equipamento e métodos de interpretação mais elaborados.

3 – OBSERVAÇÃO DE PERFIS TRANSVERSAIS

O interesse do estudo da evolução dos perfis transversais está relacionado com a comodidade de circulação e com o comportamento estrutural dos pavimentos.

A relação entre o comportamento estrutural dos pavimentos e a evolução dos perfis transversais é em geral claramente perceptível, visto a diferença de comportamento entre as zonas das rodeiras e as restantes zonas ser normalmente apreciável e resultar principalmente do tráfego.

Como o comportamento do conjunto pavimento-solo de fundação não é perfeitamente elástico, têm-se realizado estudos visando caracterizar melhor esse comportamento, por vezes considerado como viscoelástico.

As estradas construídas de modo adequado não parecem porém justificar grandes preocupações com a parte viscosa do seu comportamento, em cada aplicação de carga, dado o elevadíssimo número destas e a sua diminuta duração individual. Com efeito, após algumas aplicações de carga as estradas tendem a comportar-se de modo quase exclusivamente reversível (elàsticamente), visto as deformações permanentes, em cada aplicação, serem pequenas e diminuirem ràpidamente com o número de cargas. Por outro lado, para os tempos de carga usuais nos pavimentos rodoviários, só materiais de viscosidade anormal poderão dar lugar a deformações permanentes acentuadas, em cada aplicação, pois se assim não fosse a ruína dos pavimentos surgiria normalmente a curtissimo prazo, constituindo um «colapso».

Assim se explica que o comportamento das estradas, num dado instante, seja quase universalmente considerado como elástico, ou pelo menos como reversível, durante a maior parte da vida destas, mesmo por autores que por vezes estudam o comportamento viscoelástico.

Não obstante, devido ao elevadíssimo número de aplicações de carga, a acumulação das deformações permanentes pode provocar a ruína dos pavimentos. O estudo de tais deformações, dado o seu diminuto valor individual, deverá ser realizado separada e independentemente do estudo do comportamento elástico, em cada aplicação de carga. A via mais adequada a esse fim parece ser a da observação dos perfis transversais das estradas e o estudo da evolução destes.

Dentre as técnicas de observação de perfis transversais adoptadas no L. N. E. C., a mais evoluída baseia-se presentemente na utilização de um «transversoperfilógrafo» [12] (Fig. 3) que permite obter uma imagem contínua do perfil,

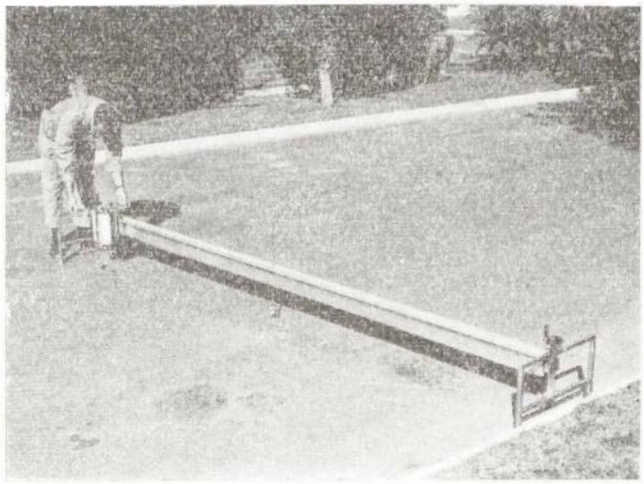


Fig. 3 — Transversoperfilógrafo

com certa rapidez. O instrumento em questão consiste numa viga de referência, provida de uma cremalheira, que se horizontaliza por meio de um sistema de apoio adequado, provido de parafusos de nivelamento, e de um nível tórico com precisão 0,1 mm/m. Ao longo dessa viga faz-se correr um pequeno carro provido de um mecanismo que desenrola o papel de registo a uma velocidade de 1/25 da velocidade do carro. Esse carro transporta uma haste provida de uma caneta que regista, em tamanho natural, os deslocamentos da roda apalpadora.

Anteriormente era usual levantar topogràficamente pontos situados a distâncias iguais, ao longo dos perfis.

Dispõe-se também dum perfilómetro constituído por uma viga metálica com orifícios, a intervalos regulares, nos quais passam cavilhas de igual comprimento. Depois de horizontalizar a viga, medem-se os comprimentos das cavilhas acima da sua face superior, e determinam-se as diferenças de cota entre os pontos do perfil onde assentam as pontas das cavilhas.

A interpretação dos resultados obtidos tem sido realizada, do ponto de vista da regularidade superficial, através duma análise da distribuição das inclinações de troços elementares, de igual comprimento, do perfil.

Por outro lado, a evolução de alguns perfis transversais revelou a possibilidade de definir zonas de assentamento máximo e mínimo, de localização característica. Assim, em troços de estrada em alinhamento recto, com pavimento de 7 m de largura, os «pontos de assentamento máximo» (PAM) concentram-se numa zona que dista do bordo do pavimento cerca de 0,6 m enquanto os «pontos de assentamento mínimo» (PAm) se situam numa zona que dista do bordo cerca de 1,8 m [13]. A diferença de assentamento entre as duas zonas, resultante da evolução do pavimento, que é uma grandeza de determinação fácil, parece poder constituir um índice com interesse no estudo do comportamento estrutural dos perfis transversais.

A fim de analisar e comparar ràpidamente o comportamento dos perfis transversais de um troço, e detectar diferenças de comportamento apreciáveis, que permitam separá-lo em segmentos de comportamento distinto, tem-se utilizado também o perfilómetro longitudinal atrás descrito, fazendo-o percorrer os perfis transversais [14]. Dadas as características do instrumento, a importância do cavado das rodeiras torna-se mais flagrante.

4 — ENSAIOS DE CARGA EM ESTRADAS

4.1 — Generalidades

Uma das vias de estudo tradicionais da capacidade de suporte de estradas é a medição dos assentamentos de pontos da superfície dos seus pavimentos, em ensaios de carga.

As cargas são aplicadas ou por meio de placas metálicas (Fig. 4) de diversos tipos e dimensões, ou por meio de pneus. Neste caso, é usual utilizar as rodas gémeas, do lado direito, do rodado traseiro de um veículo pesado (Fig. 5).

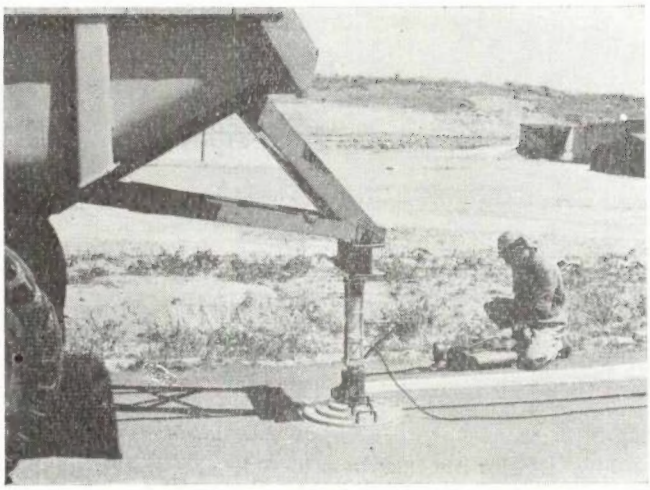


Fig. 4 — Ensaio de carga com placa, usando a célula dinamométrica

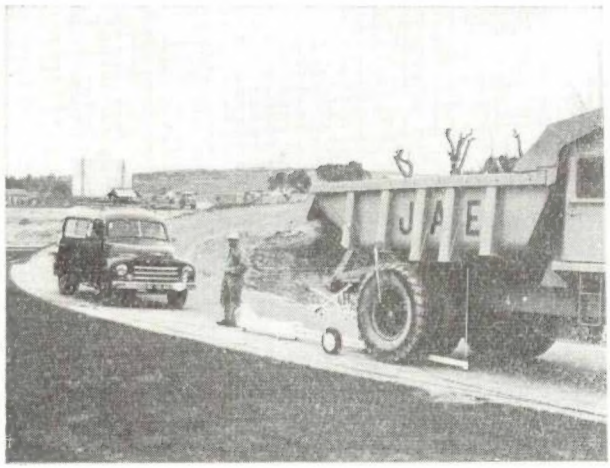


Fig. 5 — Ensaio de carga com pneu

Os assentamentos são habitualmente medidos no centro da placa, ou a meia distância das rodas gémeas. Por vezes medem-se ainda a diversas distâncias destes pontos, sendo também possível medir deslocamentos de pontos situados no interior do pavimento ou do solo de fundação, por meio de hastes metálicas apropriadas, que se cravam antes dos ensaios.

4.2 — Ensaios de carga com placa

4.2.1 — A necessidade de realizar frequentemente ensaios de carga com placa levou à cons-

trução de uma estrutura fácil de adaptar na parte traseira de um camião correntemente utilizado em obras rodoviárias.

Este veículo, depois de lastrado, realiza, na extremidade da estrutura, uma reacção que permite aplicar forças até 10 t. O ponto de ensaio dista 2,5 m do eixo traseiro, ficando portanto numa zona em que a influência perturbadora das rodas do veículo é pequena.

As forças aplicadas são normalmente medidas com um anel dinamométrico.

As placas correntemente utilizadas são de aço, com 2,5 cm de espessura e diâmetros 30,5 cm (12"), 45,7 cm (18") e 61 cm (24"). Dispõe-se de almofadas de borracha que se podem interpor entre as placas e o pavimento, e de uma placa de diâmetro 30,5 cm reforçada com oito septos radiais. Um adequado sistema de rótulas permite que a carga, no início do ensaio, seja normal ao pavimento, mesmo quando este é inclinado. Por isso, quando se empregam apenas as placas metálicas, utiliza-se, apenas para anular as irregularidades da superfície do pavimento, uma camada de interposição, de areia fina, de espessura uniforme e muito pequena para reduzir os assentamentos diferenciais da camada.

A técnica de ensaio utilizada é a que foi proposta pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées [15] e consiste no seguinte: aplica-se uma pressão inicial de 0,2 kgf/cm^2 para ajustamento da montagem (cerca de 15 s), descarrega-se, e aplicam-se então cinco pressões de ensaio (1 kgf/cm^2, 2 kgf/cm . . . 5 kgf/cm^2), fazendo voltar a pressão a zero depois de o assentamento estabilizar para cada uma delas (geralmente depois de decorrido 1 minuto) ou até variar menos de 0,02 mm/minuto.

Anotam-se os assentamentos totais e permanentes, no centro da placa, após a aplicação de cada pressão de ensaio, a cada placa (Fig. 6), quando não se utiliza um sistema que regista automàticamente a curva forças (ou pressões) — assentamentos (Fig. 7).

Os assentamentos são medidos com uma viga Benkelman.

Como os ensaios demoram 15 a 20 minutos, para cada diâmetro de placa, e na determinação das características das camadas que constituem o conjunto pavimento-solo de fundação, é normalmente necessário, mesmo em sistemas de duas camadas, utilizar três placas, de diâmetros distintos; a duração total da observação é pelo menos de cerca de 60 minutos, por ponto [15].

Quando os sistemas possuem maior número de camadas, tal determinação torna-se difícil.

4.2.2 — A precisão dos ensaios de carga não é fácil de determinar visto a variação dos resultados obtidos em repetições dum deles poder atribuir-se não só à dispersão do ensaio mas também à variação de comportamento do conjunto pavimento-solo de fundação, provocada pelas sucessivas aplicações de carga. Tal variação traduz-se normalmente por uma diminuição das deformações permanentes, que tendem para zero, após algumas repetições, enquanto as deformações reversíveis se conservam pràticamente constantes.

Por isso, o estudo da precisão dos ensaios de carga foi realizado com base nas deflexões reversíveis medidas em séries de ensaios pouco espaçados no tempo, tendo-se concluído que em cada local do ensaio aquelas deflexões se encontram em geral compreendidas num intervalo de cerca $\pm$ 10 % do valor médio da respectiva série, com origem nesse valor médio.

4.2.3 — As mais importantes causas de imprecisão, na interpretação dos resultados dos ensaios de carga com placa, parecem ser as seguintes:

- Comportamento não elástico dos materiais ensaiados
- «Rigidez» e diâmetro das placas
- Desconhecimento do coeficiente de Poisson dos materiais ensaiados
- Heterogeneidade do solo de fundação, em profundidade.

A viabilidade da aplicação das expressões da Teoria da Elasticidade, à interpretação dos resultados dos ensaios de carga, será analisada adiante, com mais pormenor. O facto, usual, das deflexões reversíveis medidas não serem exactamente proporcionais às tensões aplicadas parece constituir um dos mais importantes aspectos da imprecisão que resulta da aplicação de tais expressões. Com efeito, verifica-se normalmente uma diminuição do coeficiente de proporcionalidade, à medida que a tensão cresce, entre 0 e 5 kgf/cm^2, comportamento que se mantém em sucessivas repetições dos ensaios, e não parece depender apreciàvelmente do tempo de aplicação da carga.

Na interpretação dos resultados de ensaios de carga com placas de aço a que parece poder-se atribuir apreciável «rigidez» é frequente adoptar as expressões dos assentamentos correspondentes a placas «flexíveis». Este facto não apresenta inconveniente quando se comparam resultados de ensaios realizados com placas de rigidez idêntica, mas poderá não suceder assim na comparação dos resultados de ensaios de carga com pneu e com placa. Com efeito, o assentamento no centro de uma força circular uniforme (placa «perfeitamente flexível»), fixa aplicada perpen-

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
SERVIÇO DE GEOTECNIA
DIVISÃO DE ESTRADAS E AERÓDROMOS

ENSAIO DE CARGA COM PLACA

DATA 24/4/69 | PROCESSO Nº //

DIÂMETRO DA PLACA 30.5 cm | PONTO Nº 17
ÁREA DA PLACA 730 cm² | FOLHA Nº

LOCAL: EN 1 Km - 154.400 E

	LEITURA NO ANEL (DIV.)	FORÇA (kg)	PRESSÃO (kg/cm²)	LEITURAS DIRECTAS (mm)	ASSENT.tos (mm)	δ_r (mm)	δ_p (mm)	δ_{p_0} (mm)	$\Delta\delta_r$ (mm)		
	0		0	2.000	0.000						
	6.2			2.065							
	6.2		1	2.070	0.140						
	0			2.020							
	0		0	2.010	0.020	0.120	0.020	0.020			
	12.3			2.130							
	12.3		2	2.140	0.280				0.090		
	0			2.050							
	0		0	2.035	0.070	0.210	0.050	0.070			
	18.5			2.205							
	18.5		3	2.220	0.440				0.110		
	0			2.090							
	0		0	2.060	0.120	0.320	0.050	0.120			
	24.6			2.230							
	24.6		4	2.300	0.600				0.100		
	0			2.120							
	0		0	2.090	0.180	0.420	0.060	0.180			
	30.8			2.355							
	30.8		5	2.370	0.740				0.100		
	0			2.150							
	0		0	2.110	0.220	0.520	0.040	0.220			

OBSERVAÇÕES (local do ensaio, etc.)

ENSAIOU: | CALCULOU: | VERIFICOU:

Fig. 6 — Resultado de um ensaio de carga com placa

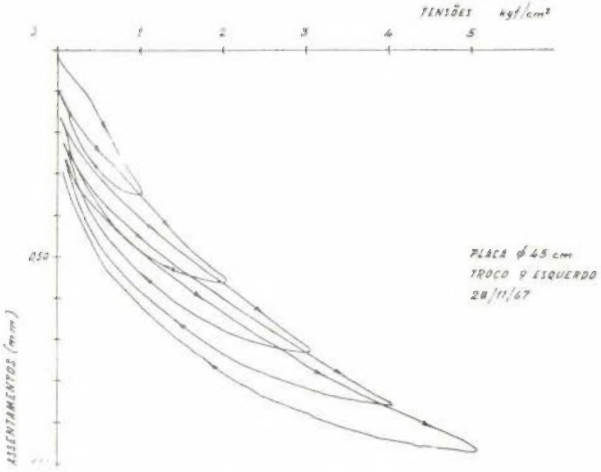


Fig. 7 — Registo de um ensaio de carga com placa

dicularmente à superfície de um meio homogéneo semi-indefinido, elástico e isótropo, é dado por: $\delta_P = 2. \frac{(1-\mu^2)\sigma r}{E}$ enquanto no caso da força aplicada por uma placa perfeitamente «rígida» (assentamento uniforme, sob toda a placa) toma a forma: $\delta_R = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(1-\mu^2)\sigma r}{E}$ sendo r o raio da força circular, σ a tensão aplicada e E e μ o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson do material.

A fim de servir de base para uma adequada comparação de resultados obtidos em ensaios de carga com pneu e com placa, realizou-se um estudo do comportamento das placas metálicas, do ponto de vista da «rigidez», o qual incidiu em especial sobre a placa de diâmetro 30,5 cm, por ser a mais frequentemente utilizada, e permitiu concluir que esta provoca assentamentos sensìvelmente uniformes em toda a sua extensão. Este estudo foi conduzido através da medição da curvatura das placas, e dos assentamentos no centro e no bordo destas, tendo-se comparado também os resultados obtidos com placas de várias espessuras, em diversas condições de assentamento, e ainda os provenientes da utilização de uma placa de diâmetro 30,5 cm, provida de oito septos radiais de reforço.

Dada a carga no eixo traseiro do camião utilizado nos ensaios (9 t), a reacção disponível só permitiu utilizar, além da placa de diâmetro 30,5 cm, as placas de diâmetro 15,3 e 45,7 cm, que também se podem considerar «rígidas». Os resultados obtidos com a placa de diâmetro 15,3 cm são normalmente considerados pouco exactos, por serem afectados, pela disposição local dos elementos pétreos de maior volume dos pavimentos.

O possível erro sistemático resultante da escolha de um valor do coeficiente de Poisson só não terá importância prática se todos os cálculos relativos a assentamentos forem realizados considerando esse valor, e se tal coeficiente se mantiver constante.

No presente trabalho adoptou-se o valor 0,50, de certo modo tradicional. Contudo, nalguns ensaios de carga com placa posteriormente realizados, e em que se mediram deslocamentos horizontais a certa profundidade com o fim de procurar esclarecer esta questão, verificou-se até agora que o coeficiente de Poisson variava com a tensão aplicada, e tinha um valor da ordem de 0,35.

A hipótese da homogeneidade do solo de fundação, que nem sempre se verifica na prática, poderá dar também lugar a erros, de valor dificìlmente previsível.

Além destas causas de imprecisão deve-se ter em conta que os ensaios de carga em estrada se realizam normalmente na rodeira externa. Parece admissível considerar a possibilidade de se verificar um efeito de bordo, devido à proximidade da berma. Esta questão será analisada mais adiante.

Outra frequente causa da imprecisão é o desconhecimento da espessura exacta do pavimento, a qual, no presente trabalho, se determinou por meio de sondagens.

Por outro lado, a medição da carga aplicada, por meio de um anel dinamométrico, tem sido recentemente sujeita a críticas que lhe atribuem precisão insuficiente.

4.3 — Ensaios de carga com pneu

4.3.1 — Há já alguns anos que o L.N.E.C. utiliza a viga Benkelman na realização de ensaios de carga com pneu [16].

O modelo da viga construído revelou inicialmente alguns defeitos, que conduziam a erros na medição das deflexões, e foram eliminados, nomeadamente, aplicando-lhe uma protecção em polietileno expandido.

A viga assim preparada tem sido utilizada com frequência, nos últimos anos, em ensaios de carga

ELECTROTÊCNICOS
REUNIDOS Lda.
av. duque de ávila, 66-3º
lisboa
portugal

NOS
LABORATÓRIOS
SUBTERRÂNEOS DA
SKF UM CIENTISTA OCU-
POU-SE DURANTE ANOS A APER-
FEIÇOAR A MÁQUINA DESTINADA A RE-
VOLUCIONAR OS FUNDAMENTOS DA TECNOLOGIA
DOS ROLAMENTOS.

Se não parecemos preocupados, devíamos parecer. Este aparelho vai causar grande agitação entre aqueles que lidam com rolamentos e são muitas mais pessoas do que as que podemos imaginar. Este é o primeiro sistema que permite o controle do estado dum rolamento e que pode prever com certa antecedência uma futura avaria. Em primeiro lugar, vai ajudar o utilizador dos rolamentos, pois irá indicar quando e porque se devem substituir. Vai ajudar, também, os nossos concorrentes, pois os seus clientes podem avisá-los com uma certa antecedência de que vão ter que substituir um rolamento. Enfim, a manutenção preventiva atingiu uma nova era.

Se quer saber mais pormenores, informe-se na

SKF

LISBOA
PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A TELEF.: 362301 TELEGR.: ESKAEF

PORTO
RUA DELFIM FERREIRA, 604 TELEF.: 692054 TELEGR.: ESKAEF

com pneu destinados sobretudo a estudos relativos ao esforço de pavimentos. Estes ensaios são realizados na rodeira externa dos pavimentos, com um camião que descarrega 9 t no eixo traseiro, calçado com pneus 14,00 × 24 — 20 telas, de rasto bastante liso, à pressão de 5,6 kgf/cm² (80 psi). A distância entre os flancos dos pneus, no rodado de ensaio, é cerca de 6 cm.

Tendo-se procurado realizar ensaios de carga e descarga, notaram-se dificuldades e causas de erro apreciáveis, pelo que passou a fazer-se só o ensaio de descarga. Dada a influência perturbadora do estacionamento do rodado junto do ponto a ensaiar e pretendendo-se colher maior número de informações em cada ensaio, estudou-se uma alonga para a viga, de modo a poder fazer-se a descarga num só movimento do veículo. Efectivamente, se o braço apalpador da viga for suficientemente estreito para passar entre as rodas gémeas e suficientemente longo para a ponta apalpadora assentar no pavimento cerca de um metro à frente do eixo de carga, sem que este afecte os apoios da viga, pode, durante uma simples marcha à frente, fazer-se uma série de leituras correspondentes a uma parte importante da carga e à totalidade da descarga (Fig. 8). Além disso, o fenómeno de «enfolamento» («squeeze») que por vezes ocorre entre as rodas gémeas, tem nesta técnica uma influência menor, por não haver estacionamento ao lado da ponta apalpadora.

Dadas as dimensões do camião utilizado e a conveniência em que o comprimento do braço apalpador da viga fosse múltiplo inteiro do comprimento do braço medidor, adoptou-se para aquele o valor 3,60 m. A relação entre braços mudou para 3:1, e os ensaios de carga com pneu passaram a ser realizados do seguinte modo:

a) Estaciona-se o camião de modo que o rodado traseiro direito se situe 1,00 m atrás do ponto a ensaiar. Para o efeito, o veículo possui um ponteiro vertical, de refêrencia.

b) Instala-se a viga de modo que a alonga passe entre os dois pneus do rodado de ensaio, a igual distância de ambos, e a ponta apalpadora se apoie no ponto a ensaiar.

c) Depois de nivelar o instrumento, faz-se a leitura inicial do deflectómetro. A um sinal do operador, o camião avança a velocidade muito reduzida e tanto quanto possível constante.

d) Enquanto o camião se desloca lê-se a deflexão máxima verificada e faz-se uma leitura final quando o ponteiro do deflectómetro estaciona.

A diferença entre a leitura correspondente à deflexão máxima e a leitura final, isto é, a defiexão reversível máxima, é usualmente designada por deflexão reversível do ponto ensaiado.

O ensaio demora em média 3 a 4 minutos, dos quais cerca de 10 segundos correspondem ao afastamento do camião.

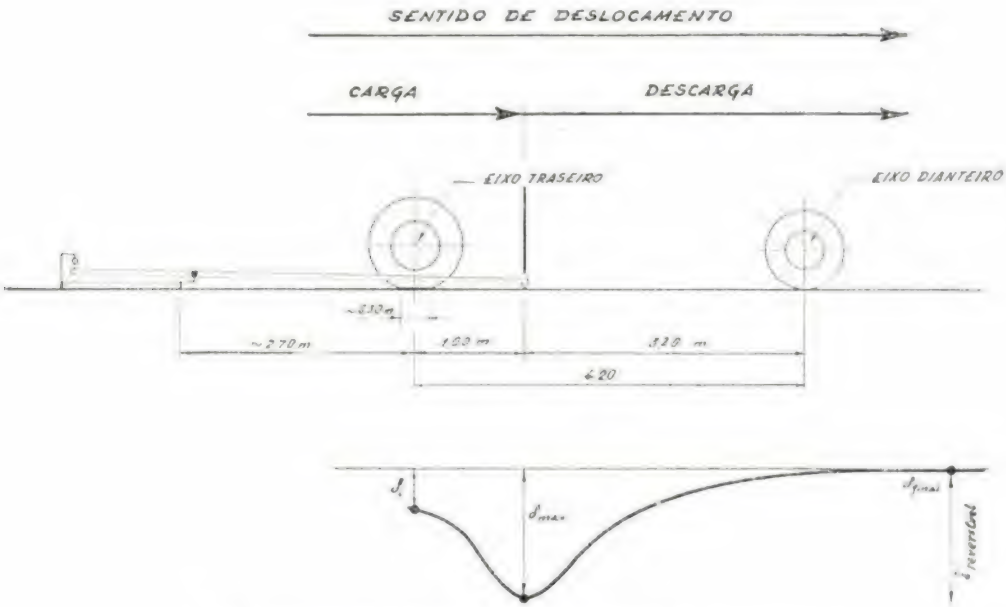


Fig. 8 — Dimensões básicas do deflectógrafo de pavimentos

A breve trecho verificou-se que o traçado automático, num registador, do resultado do ensaio, isto é, da linha de influência dos assentamentos reversíveis, no ponto ensaiado, apresentaria grandes vantagens. Por um lado o operador, liberto da preocupação de «apanhar» a leitura máxima, poderia observar o arranque e o movimento do camião, e a simultaneidade da ocorrência de vento ou da passagem de tráfego nas imediações. Por outro lado o ensaio seria mais rico de informações, pelo número de deflexões registadas, por possibilitar o estudo das curvaturas, por permitir conhecer a zona de influência das cargas, etc. Decidiu-se por isso recorrer a um sistema de registo automático das deflexões do pavimento e dos correspondentes deslocamentos do veículo de carga [16].

As escalas de registo mais utilizadas são 1/25 para os deslocamentos do camião e 100/1 para as deflexões.

Atendendo às características da aparelhagem, o erro absoluto das deflexões medidas é: $0{,}012 + 0{,}004\,\delta_r$ mm, sendo δ_r a deflexão do pavimento, em milímetros. Para $\delta_r = 1$ mm, o erro relativo correspondente será de 1,6 %.

O conjunto viga Benkelman-sistema registador, que se convencionou chamar «deflectógrafo», tem sido utilizado correntemente na observação de pavimentos, realizando-se os ensaios como atrás se indicou. Os registos destes ensaios têm vindo a ser designados por «deflectogramas» (Fig. 9).

4.3.2 — A precisão da medição das deflexões reversíveis, em ensaios de carga com pneu, é também difícil de determinar, dado o habitual comportamento do conjunto pavimento-solo de fundação, e os condicionamentos próprios do ensaio, resultantes do movimento do veículo. A análise dos principais aspectos desse comportamento, e da influência da velocidade do veículo, será apresentada mais adiante.

Tal como nos ensaios de carga com placa, parece admissível estudar a precisão da medição das deflexões reversíveis a partir dos resultados de séries de ensaios, pouco espaçados no tempo, realizadas em diversos locais. Os desvios dos resultados individuais em relação à média dos resultados da respectiva série são, em cerca de 90 % dos casos, inferiores a 10 % dessa média. Por outro lado, a média dos desvios é da

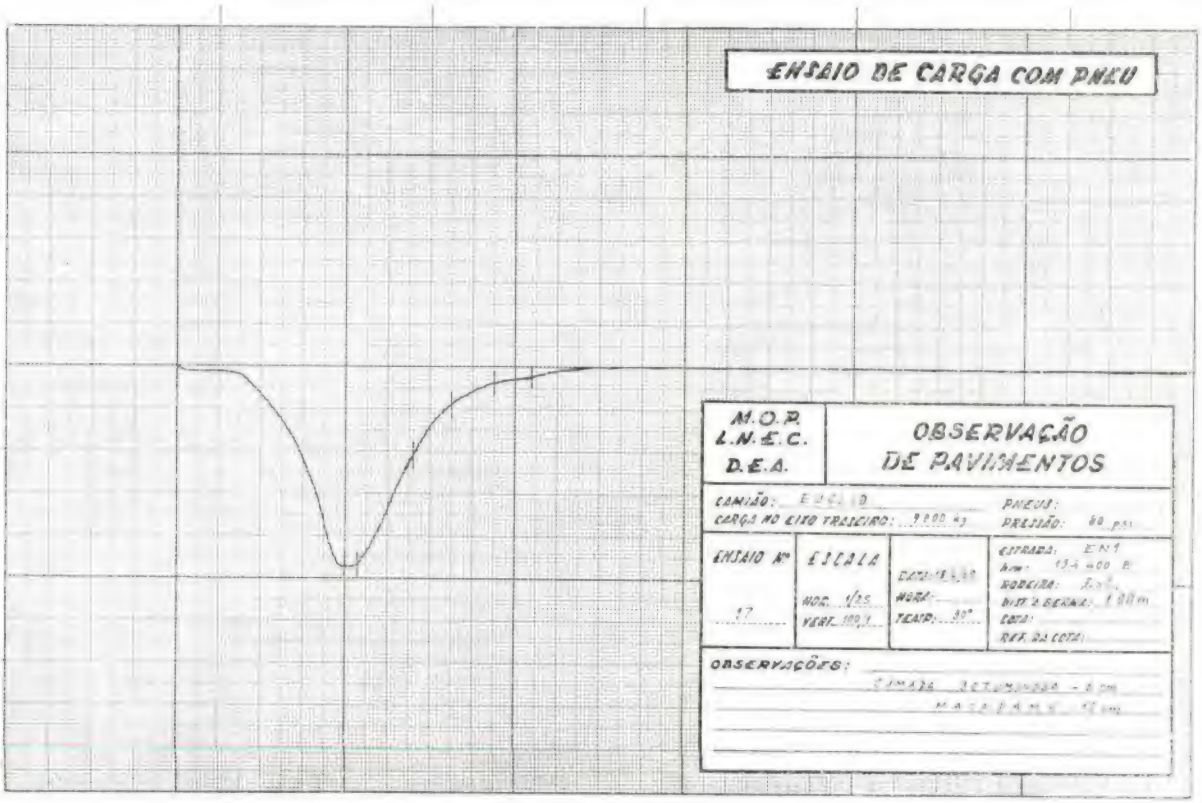


Fig. 9 — Registo de um ensaio de cargo com pneu

ordem de 4 % da deflexão reversível média das séries. A dispersão dos deflectogramas registados nestas séries de ensaios é maior na zona das deflexões máximas, apresentando também valores apreciáveis no segmento correspondente à maior curvatura convexa do pavimento. Em face dos resultados obtidos considera-se que a dispersão habitual nos resultados dos ensaios de carga com pneu é da ordem de ± 10 %.

A influência da variação de pressão de enchimento dos pneus revelou-se desprezável, em face da dispersão dos ensaios, quando inferior a 0,7 kgf/cm².

4.3.3 — As mais importantes causas de imprecisão, na interpretação dos resultados dos ensaios de carga com pneu, parecem ser as seguintes:

— Erro de pesagem do eixo de carga
— Irregularidade das tensões aplicadas pelos pneus, e da superfície de contacto destes
— Influência das restantes rodas do veículo
— Heterogeneidade longitudinal do conjunto pavimento-solo de fundação
— Efeito de bordo do pavimento,

além de o comportamento dos materiais não ser elástico, da arbitrariedade na escolha do coeficiente de Poisson e da provável heterogeneidade do solo de fundação, em profundidade.

O estudo da influência da carga por eixo nas deflexões reversíveis máximas permitiu concluir que estas, em cada ponto, são aproximadamente proporcionais à carga utilizada na sua determinação. Por isso, o erro sistemático de pesagem do eixo da carga, que depende da báscula utilizada, e atinge usualmente 5 % da carga, dará lugar a um erro análogo, naquelas deflexões.

As inclinações longitudinal e transversal dos pavimentos dão lugar a uma falta de perpendicularidade da carga, o que também conduz a certa inexactidão. Os deslocamentos do lastro, devidos ao movimento do camião, embora limitados por septos instalados na caixa do veículo, poderão provocar alterações acidentais da carga por eixo.

Segundo a experiência norte-americana [17], a tensão aplicada por pneus, mesmo de rasto liso, não é uniforme, embora para um pneu de modelo semelhante ao utilizado nos ensaios, e cheio à mesma pressão, pareça poder-se considerá-la como tal, para efeitos práticos. Daqui resultará porém certa imprecisão agravada pelo facto de os pneus utilizados nos ensaios não terem o rasto desgastado, junto dos flancos. Por outro lado, existe a possibilidade de as características periféricas dos pneus não serem constantes. Em virtude porém de os assentamentos, nos ensaios de carga com pneu, serem medidos a certa distância do centro das cargas, estas causas de imprecisão perdem parte da sua importância, conforme se verá mais adiante.

O grau de irregularidade do contorno de superfície de contacto das rodas com o pavimento, determinado por impressão da superfície em folhas de papel, durante 1 segundo, não é muito elevado. Com efeito, a impressão de cada roda pode-se inscrever de forma satisfatória num círculo de 27 cm, enquanto a sua área corresponde à de um círculo de diâmetro aproximado 23 cm, ou seja, com um erro de + 300 kgf, às condições de carga. Por isso considera-se a superfície de contacto com o pavimento, em cada pneu utilizado no ensaio de carga, como circular, de diâmetro $d = 23$ cm, o que conduz a certa inexactidão.

A distância entre os centros das superfícies de contacto das duas rodas utilizadas nos ensaios é, em média, de 43,5 cm (cerca de 1,9 d).

A influência do rodado traseiro esquerdo do veículo nos resultados dos ensaios parece pouco significativa. Com efeito, dada a acentuada concavidade usual da deformada da superfície dos pavimentos, à distância mínima da ponta apalpadora a que a roda se encontra (cerca de 1,85 m), corresponde normalmente um assentamento muito reduzido daquela ponta.

As variações longitudinais da capacidade de suporte das estradas são por vezes acentuadas e surgem normalmente de forma brusca. Contudo, a reduzida extensão de pavimento interessada em cada ensaio de carga, e o carácter pouco localizado que as irregularidades parecem ter, normalmente, mostram que a probabilidade de realizar um ensaio na transição de duas zonas de distinta capacidade de suporte é pequena.

Alguns autores têm observado, em ensaios de carga com pneu, uma apreciável diminuição da capacidade de suporte, junto ao bordo do pavimento, até distâncias da ordem de 1,5 m. Como estes ensaios são normalmente efectuados a cerca de 1 m da berma (rodeira externa), e a essa distância da ponta apalpadora correspondem, nos

deflectogramas, valores da ordem de 10% da deflexão reversível máxima, estudou-se o possível «efeito de bordo», realizando ensaios a diversas distâncias da berma. Os resultados obtidos não permitiram até agora detectar apreciável efeito de bordo, o mesmo sucedendo com a comparação dos deflectogramas registados em zonas de aterro e escavação,

4.4 — Determinação das características estruturais de pavimentos a partir dos resultados dos ensaios de carga

A maior parte dos métodos que têm sido propostos para a resolução do problema do reforço de pavimentos, um dos que mais preocupa as entidades rodoviárias de numerosos países, baseia-se na caracterização do estado do pavimento pela deflexão reversível máxima medida em ensaios de carga com pneu, e define a espessura do reforço a adoptar a partir da redução de deflexão desejada, e das características do material de reforço. A generalização da aplicação destes métodos tem sido objecto de dúvidas, em especial por terem sido deduzidos sob condições particulares, (clima, técnica e tipo de construção, etc.), pondo-se a questão da sua validade noutras condições.

Tais dúvidas levaram alguns autores a considerar que a via mais aconselhável para se atingir um método de dimensionamento de reforço de pavimentos aplicável em quaisquer condições é afinal a dos métodos de cálculo de pavimentos, referidos no Quadro I, em que se deduzem as expressões das tensões e das deformações nos pavimentos a partir das espessuras das suas camadas e das características estruturais dos materiais que as constituem. A primeira tentativa realizada neste sentido deve-se a Jeuffroy e Bachelez [18] que procuraram aplicar ao reforço de pavimentos o método por eles desenvolvido para o cálculo de pavimentos novos, baseando-se em resultados obtidos no ensaio AASHO, sobre alguns pavimentos reforçados, e tomando como parâmetro definidor do comportamento do reforço a tensão de tracção a que este ficará sujeito. O cálculo dessa tensão é efectuado com base nos módulos de elasticidade das camadas inferiores, deduzidos, por aproximações sucessivas, a partir da deflexão reversível máxima medida sobre o pavimento a reforçar, em ensaios de carga com pneu, e do valor de CBR do solo de fundação, Este método é susceptível de conduzir a erros, além de ser inaplicável quando se desconhece o CBR do solo de fundação, ou a relação exacta entre este e o módulo de elasticidade do solo.

A determinação das características estruturais das camadas que constituem o conjunto pavimento-solo de fundação é correntemente efectuada por meio de ensaios de carga com placas de diversos diâmetros o que é bastante moroso, como se disse atrás. Não têm sido utilizados, com este fim, os ensaios de carga com pneu, embora mais rápidos e fáceis de executar do que os de placa, dada sobretudo a dificuldade em variar o diâmetro das cargas aplicadas, de modo adequado.

Mas se, em vez da simples medição da deflexão reversível máxima, habitual nos ensaios de carga com pneu, se registar, como se indicou em 4.3, a linha de influência dos assentamentos reversíveis, à passagem do veículo de carga (deflectograma), o que não é mais demorado, obtêm-se muito mais informações, as quais têm revelado que a deflexão reversível máxima não é suficiente para caracterizar o comportamento dos pavimentos, pois a um mesmo valor de tal grandeza podem corresponder várias deformadas da superfície do pavimento.

Daqui ressaltou o interesse do estudo das possibilidades de interpretar os resultados dos ensaios de carga no sentido da determinação das características estruturais do pavimento e solo de fundação, por interpretação dos deflectogramas, estudo cuja divulgação é a principal finalidade do presente trabalho.

Com esse fim, após o estudo da precisão dos ensaios de carga, e duma análise dos aspectos do comportamento estrutural das estradas, que se apresenta a seguir, criou-se um método que permite calcular, com base na Teoria da Elasticidade, as linhas de influência dos assentamentos da superfície de sistemas constituídos por duas e três camadas elásticas, sujeitos a uma carga circular (Quadro I).

QUADRO I

Aspectos das principais teorias elásticas referentes a sistemas constituídos por camadas

Autor	Constituição do sistema	Número das camadas / Interfaces	Método de cálculo	Parâmetros utilizados	Valores calculados	Observações
Westergaard (1923-1926)	Laje elástica sobre um corpo semi-indefinido de reação vertical (líquido denso).	3 / Escorregamento perfeito.	Princípio do trabalho de Hertz, Teorema das Lajes finas.	Espessura da laje, Módulo de elasticidade da laje, Módulo de reação do líquido.	Assentamentos. Tensões de tração máximas na laje (carga no centro e na borda, carga uniforme).	Aplicável a pavimentos rígidos. O comportamento da subbase é pouco real.
Hogg e Holl (1938)	Laje elástica sobre um corpo semi-indefinido elástico.	2 / Escorregamento perfeito.	Teoria da flexão que inclui uma função de Bessel. Equação de Lagrange.	Módulos de elasticidade (módulo do corpo semi-indefinido). Espessura da laje.	Tensões de tração na laje.	Aplicável a pavimentos rígidos. (vide Jeuffroy e Bachelez)
Palmer e Barber (1940)	Camada elástica sobre corpo semi-indefinido, elástico.	2	Substituição da espessura do pavimento por uma espessura equivalente. $h_e = h\sqrt{\frac{E_1}{E_2}}$	Espessura h da camada, Módulos de elasticidade da camada (E_1) e do corpo semi-indefinido (E_2).	Assentamentos da superfície do pavimento e da subbase (centro da carga).	Método simplificado. Os resultados ajustam-se satisfatòriamente aos valores calculados por Burmister.
Burmister (1943)	Camada elástica sobre corpo elástico semi-indefinido.	2 / Interfaces perfeitas.	Equações de equilíbrio e compatibilidade, de Love. Funções de tensão que incluem uma função de Bessel.	Espessura da camada e módulos de elasticidade desta e do corpo semi-indefinido. Coeficiente de Poisson 0,5.	Assentamento da superfície do pavimento, no centro da carga à partir dos valores dum coeficiente de assentamento.	Aplicação prática imediata, por meio dum ábaco dos coeficientes de assentamento.
	Duas camadas elásticas sobre corpo elástico semi-indefinido.	3 / Aderência perfeita.	Aplicação dos princípios do cálculo de Burmister ao caso de sistema assim.	Espessuras e módulos de elasticidade. Coeficiente de Poisson 0,5.	Assentamento da superfície do pavimento, no centro da carga.	Método simplificado.
Burmister (1945)	Camada elástica sobre corpo elástico semi-indefinido.	2 / Aderência ou escorregamento perfeitos.	As indicadas anteriormente.	Módulos de elasticidade das camadas, espessuras e coeficiente de Poisson.	Assentamento e curvatura na superfície do pavimento. Assentamento, tensões e curvaturas na interface. (centro da carga)	Dedução as expressões analíticas mas não cálculos coeficientes numéricos.
	Duas camadas elásticas sobre corpo elástico semi-indefinido.	3 / Aderência ou escorregamento perfeitos.			Assentamento na superfície do sistema semi-indefinido. (centro da carga)	
Fox (1944)	Camada elástica sobre corpo elástico semi-indefinido.	2 / Aderência ou escorregamento perfeitos. / Aderência parcial.	Função das tensões adoptada por Burmister. / Método criterioso.	Módulos de elasticidade das camadas e espessura. Coeficiente de Poisson 0,5.	Tensões horizontais e verticais no eixo (passando pelo centro da carga). / Distribuição das tensões verticais nas duas camadas.	Aplicação prática imediata dos ábacos e gráficos apresentados.
Hank e Scrivner (1946)	Camada elástica sobre corpo elástico semi-indefinido.	2 / Aderência ou escorregamento perfeitos.	Continuação do cálculo de Burmister.	Módulos de elasticidade das camadas e espessuras. Coeficiente de Poisson 0,5.	Tensões em ambos os lados da interface (eixo da carga) / Tensões na primeira interface (eixo da carga)	Cálculos numéricos, resultados tabelados.
	Duas camadas elásticas sobre corpo elástico semi-indefinido.	3 / Aderência perfeita.				
Odemark (1949)	Camada elástica sobre um corpo elástico semi-indefinido.	2 ou 3	Introdução do conceito de "espessura equivalente" de pavimento. $h_e = h\sqrt[3]{\frac{E_1(1-\nu_2^2)}{E_2(1-\nu_1^2)}}$ $(\nu_1 = \nu_2 = 0,5)$	Módulos de elasticidade, espessuras dos estratos e coeficiente de Poisson.	Assentamento da superfície do pavimento; tensão radial na base da camada superior (eixo da carga)	Método simplificado. Os resultados ajustam-se aos de Burmister.
Pickett e Ray (1950)	Laje sobre líquido denso.	2	Continuação do trabalho de Westergaard.	Os indicados de Westergaard.	Assentamentos e momentos na laje (carga no centro, na borda e no canto).	Aplicável a pavimentos rígidos. Valores tabelados e ábacos.
	Laje sobre sólido elástico.	Escorregamento perfeito.	Continuação do trabalho de Hogg e Holl.			
Acum e Fox (1951)	Duas camadas elásticas sobre um corpo semi-indefinido.	3 / Aderência perfeita.	Extensão do princípio de superposição.	Espessuras das camadas, módulos de elasticidade e coeficiente de Poisson.	Deslocamentos e tensões em ambos os lados da interface. (eixo da carga)	Cálculos numéricos. Tabelados.
Jeuffroy e Ai (1954)	Laje elástica sobre corpo elástico semi-indefinido.	Escorregamento perfeito ou Desenvolvimento horizontal.	Teoria das Lajes. Equações de Lagrange.	Espessura da Laje. Módulos de elasticidade da laje e do corpo semi-indefinido. Coeficiente de Poisson.	Tensões na subbase.	Aplicável a pavimentos rígidos. Cálculos numéricos tabelados.
Odemark (1957)	Duas camadas elásticas sobre corpo elástico semi-indefinido.	3	Continuação do trabalho de Burmister.	Módulos de elasticidade. $E_1/E_2 = 1,2; E_1/E_3 = 10$ Coeficientes de Poisson $\nu_1 = 0,4$ ... $0,2$ $\nu_2 = 0,4$ Espessuras das camadas.	Tensões nas interfaces e assentamentos à superfície. (eixo da carga)	Pouco interesse prático. Valores numéricos tabelados.

QUADRO I

(Continuação)

Autor	Condições do problema	Número de camadas / Interfaces	Método de Análise	Propriedades elásticas	Valores calculados	Observações
Jeffrey e Hutchinson (1960)	Lajes sobre camada elástica assente sobre outro elástico perfeito e rígido.	2 camadas Escorregamento parcial (11 interfaces). Aderência perfeita (12 interfaces).	Aplicação das tabelas de Burmister e Huang.	Módulos de elasticidade e espessuras das camadas. Coeficiente de Poisson 0,5	Assentamentos na superfície, tensões horizontais na laje, tensões verticais na base. (Carga simples ou dupla)	Ábacos com os valores do "coeficiente de assentamento", segundo o método de Hogg. Valores numéricos para dupla e tripla camadas, apresentados sob a forma de ábacos.
Mehta (1960)	Camadas elásticas sobre corpo elástico semi-infinito.	Qualquer número de camadas (até 3), com possibilidades de escorregamento. Aderência perfeita.	Métodos de Burmister. Teorias de Fourier. Processo de [illegible] (1).	Espessuras das camadas e módulos de elasticidade. Coeficiente de Poisson 0,25	Tensões verticais, radiais, corte e assentamentos a vários pronfundadades, ao longo do eixo da carga e fora deste.	Tabelas para 2 camadas, no eixo e fora dele; para vários casos de 3 camadas, no eixo; 2 casos de 4 camadas; 1 caso de 5 camadas. Os valores referem-se sobretudo a tensões. Não apresenta valores referentes à superfície do pavimento.
[illegible] (1962)	Camadas elásticas que [illegible]	Qualquer número [illegible]	Considera-se cada [illegible]	Espessura das camadas, módulo de rendimento.	Tensões em todas as interfaces, assentamento na superfície do pavimento, igual ao da [illegible]	Método simplificado. Tabelas para cálculo baseadas nos valores de Burmister.
[illegible] (1962)	Camadas elásticas sobre [illegible]	Qualquer número de camadas e diversos tipos de [illegible]	Equações de equilíbrio e compatibilidade.	Espessura das camadas. Módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson.	Expressões analíticas gerais, das tensões e dos assentamentos.	Não apresenta resultados numéricos.
Terzaghi (1962)	Camadas elásticas sobre corpo elástico semi-infinito.	Qualquer número de camadas.	Considera-se um "coeficiente de rigidez relativa" [illegible] $\sqrt{\frac{E_1}{E_2}}$ e um módulo de elasticidade equivalente, na superfície da camada, que é o do conjunto das camadas inferiores.	Módulos de elasticidade das camadas e espessuras destas.	Tensões verticais e assentamentos na superfície do pavimento (eixo da carga)	Método simplificado. Os assentamentos calculados parecem ajustar-se aos de Burmister.
Jones (1962)	Camadas elásticas sobre corpo elástico semi-infinito.	2 Aderência perfeita.	Função de tensões. Computador Pegasus Mark 1ª	Módulos de elasticidade das camadas e espessuras destas. Coeficiente de Poisson 0,5	Tensões verticais e horizontais na 1ª e 2ª interfaces (eixo de carga)	Valores numéricos tabelados para diversas relações de módulos e de espessuras. Ábacos para determinação rápida desses valores, preparados por Peattie.
Tsai e Westergaard (1962)	Camadas elásticas sobre corpo elástico semi-infinito.	2 Aderência perfeita.	Função de tensões. Computador Pegasus	Módulos de elasticidade das camadas e espessura. Coeficiente de Poisson 0,5 Módulos de elasticidade das camadas e espessuras. Coeficiente de Poisson 0,5	Assentamentos na superfície. (eixo de carga) Assentamentos na superfície. (eixo da carga)	Valores numéricos tabelados para diversos módulos de elasticidade e espessuras. Valores numéricos tabelados para diversas relações de módulos de elasticidade e de espessuras.
Verdeyen (1963)	Meio semi-indefinido constituído por camadas de diversos módulos de elasticidade.	Qualquer número.	Utilização dos valores calculados para um meio [illegible]	Módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e espessura das camadas.	Assentamentos superficiais (eixo da carga) [illegible]	Método simplificado. A aplicação dos valores deduzidos para o meio homogéneo [illegible] não parece válida.
Seed, Monismith (1963)	Meio semi-indefinido constituído por camadas de módulo de elasticidade [illegible]	2 3 Aderência superficiais.	Utilização dos valores calculados por Ahlvin e Ulery, para um meio [illegible]	Módulo de elasticidade das interfaces: [illegible]	Assentamentos superficiais (eixo da carga) [illegible]	Método simplificado. A aplicação dos valores deduzidos para o meio homogéneo [illegible] não parece válida.
[illegible] (1963)	Camadas elásticas sobre corpo elástico [illegible]	Qualquer número de camadas.	[illegible]	Módulos de elasticidade, coeficientes de Poisson e espessuras das camadas.	Apresenta direção em elementos finitos [illegible]	Não apresenta resultados numéricos.
[illegible] (1963)	Camadas elásticas sobre corpo elástico [illegible]	Qualquer número até 21. Aderência perfeita.	[illegible] de Lame. Função de tensões. [illegible] para computador. Algoritmo.	Módulos de elasticidade, coeficientes de Poisson e espessuras das camadas.	Assentamentos na superfície do pavimento, [illegible]	Não apresenta resultados numéricos. O programa foi elaborado, apenas, para pontos situados no eixo da carga.
Peattie (1963)	Lajes sobre camada elástica assente sobre outro elástico.	Qualquer número de camadas.	Princípio de [illegible]. Valores. Aplicação das tabelas de Burmister. Jones.	Módulos de elasticidade, coeficientes de Poisson e espessuras das camadas.	Assentamentos na superfície do sistema, tensões no eixo, 2r, 4r, 6r, 8r e 10r do centro da carga, em relação aos assentamentos no centro.	Tabelas referentes a 50 casos de sistemas de duas camadas e 200 casos de sistemas de três camadas.

Esse método serviu para elaborar tabelas que têm vindo a ser utilizadas na interpretação de deflectogramas.

5 — ASPECTOS DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS ESTRADAS

5.1 — Características do comportamento elástico atribuído às estradas

Como se disse, o comportamento estrutural das estradas não está ainda estudado de forma completa.

Por outro lado, viu-se também que esse comportamento, em cada aplicação de carga, pelo tráfego, pode normalmente considerar-se como elástico, visto a correspondente deformação permanente ser inapreciável, em estradas construídas de modo adequado.

Contudo, a elasticidade do conjunto pavimento-solo de fundação não é perfeita, verificando-se normalmente uma diminuição do coeficiente de proporcionalidade entre a deflexão reversível e a tensão aplicada, à medida que esta cresce. Assim, as diferenças médias, em valor relativo, entre as deflexões reversíveis correspondentes às tensões 3 e 5 kgf/cm² e os valores que se obtém multiplicando por 3 e por 5 as deflexões reversíveis correspondentes à tensão 1 kgf/cm² são usualmente da ordem de — 17 % dos valores calculados, e em cerca de 80 % dos casos são iguais ou inferiores a 20 % dos mesmos. A comparação, em moldes anàlogos, das deflexões reversíveis correspondentes a 3 kgf/cm² com as correspondentes a 5 kgf/cm² conduz a diferenças muito menores, usualmente da ordem dos 4 %, em média, com máximos de 8 a 10 %.

5.2 — Influência do deslocamento da carga

Os métodos de cálculo de pavimentos pressupõem a aplicação de cargas fixas, o que se afasta da realidade, no caso das estradas.

O efeito do deslocamento das cargas, nos assentamentos, foi já estudado teórica e experimentalmente, por diversos autores. Embora os resultados apresentados sejam por vezes pouco concordantes, parece poder-se concluir que as deformações reversíveis da superfície dos pavimentos serão análogas às que correspondem a cargas fixas, pelo menos quando a velocidade de deslocamento é baixa.

Quanto à influência do movimento dos veículos nas tensões, a bibliografia corrente é também pouco concordante.

Parece razoável admitir que, se as tensões provocadas por cargas móveis forem inferiores às provocadas por cargas fixas iguais, a consideração destas últimas constituirá uma margem de segurança que se anulará quando os veículos param. Contudo, como as perturbações mecânicas, em sólidos deste tipo, se propagam com grande rapidez, dadas as elevadas velocidades de Rayleigh que neles são usuais, não parece provável que as tensões e deformações atinjam valores muito diferentes dos que correspondem a cargas fixas iguais, para as velocidades usuais do tráfego pesado.

De qualquer modo, é usual considerar que o conhecimento dos módulos de elasticidade das camadas que constituem as estradas seria um grande progresso, mesmo que esses módulos tenham apenas características «estáticas», visto permitirem aplicar os resultados dos trabalhos já realizados, para a hipótese das forças fixas.

Por isso, tem-se procurado determinar esses módulos, por diversos processos, dando-se preferência aos mais rápidos e económicos. Ora, como os valores mais fáceis de medir parecem ser os dos assentamentos reversíveis, em ensaios de carga com pneu e, dentro destes, os da superfície do pavimento, uma das vias que se deverá explorar, com o fim de determinar os módulos de elasticidade das camadas, é a da interpretação dos deflectogramas.

Tendo em conta o comportamento usual dos conjuntos pavimento-solo de fundação, e a reduzida velocidade do veículo de carga, em ensaio (1 km/h), os deflectogramas obtidos em troços uniformes serão equivalentes, do ponto de vista prático, a linhas de influência experimental dos assentamentos elásticos da superfície de pavimentos sujeitos a duas cargas circulares fixas, com as características indicadas em 4.3.3.

5.3 — Concavidade das linhas de influência experimentais dos assentamentos reversíveis

5.3.1 — A experiência tem revelado que os deflectogramas apresentam normalmente uma concavidade superior à da linha de influência dos assentamentos da superfície de um meio homo-

géneo semi-indefinido, elástico e isótropo, solicitado de modo análogo.

O mesmo sucede com as linhas de influência experimentais dos assentamentos reversíveis, obtidas em ensaios de carga com placas de vários diâmetros realizados na superfície de maciços terrosos onde não havia efeito de bordo, ou de pavimentos de que se verificou, posteriormente, a uniformidade de capacidade de suporte, na zona do ensaio. A fim de se conseguir um comportamento tanto quanto possível elástico, a medição das deflexões, realizada à tensão de 2 kgf/cm², no centro da placa e a diversas distâncias deste, era precedida de alguns ciclos de carga de tensão superior àquela. Obtiveram-se assim deformações permanentes nulas, no centro da placa e fora deste.

Este comportamento dos maciços terrosos e dos pavimentos está de acordo com a experiência de diversas entidades.

Por outro lado, alguns autores consideram a hipótese corrente da homogeneidade dos maciços terrosos como pouco válida, por diversas razões tais como humidade das camadas superiores, aumento de baridade e rigidez com a profundidade, estratificação, diminuição da compressibilidade com a profundidade.

Efectivamente, o facto de a linha de influência dos assentamentos da superfície dos maciços terrosos que se observaram variar com o diâmetro da placa parece traduzir a não uniformidade dos maciços, com a profundidade. E a concavidade das linhas de influência sugere a presença de uma zona superior menos resistente.

A presença dessa zona poderá atribuir-se ao crescimento, com a profundidade, das tensões devidas ao peso próprio, o qual poderá permitir a expansão da parte superior do maciço, com a consequente diminuição de resistência desta, ou dar lugar ao crescimento do módulo de resistência do maciço com a profundidade, ou ocasionar ambos os fenómenos. Com efeito, a influência constante do peso próprio poderá, deste ponto de vista, modificar o comportamento dos maciços, de modo apreciável e permanente, o mesmo não sucedendo com a aplicação de sobrecargas superficiais de curta duração, embora bastante frequentes.

Os maciços terrosos deverão ser, por isso, considerados como estratificados, de módulo de elasticidade crescente com a profundidade, e aproximadamente constante para cada valor desta, não sendo portanto aplicável a solução do problema de Boussinesq, deduzida para a hipótese do módulo de elasticidade constante.

Contudo, como o diâmetro das cargas normalmente aplicadas nos ensaios rodoviários não é elevado, parece admissível considerar-se a profundidade dos maciços, que influencia predominantemente os resultados desses ensaios, como bastante limitada, não devendo incluir portanto elevado número de camadas.

5.3.2 — As determinações da linha de influência experimental dos assentamentos reversíveis, na superfície de alguns pavimentos, por meio de ensaios de carga com placa, permitiu verificar ainda que os assentamentos relativos, mesmo com a placa de diâmetro 45,7 cm, são de cerca de 5 %, a distâncias da ordem de 1 m do centro da placa, e de cerca de 2 %, a distâncias da ordem de 1,5 m. Este facto parece indicar que o provável efeito de bordo é desprezável, para efeitos práticos, dados os diâmetros das cargas aplicadas, a distâncias da ordem de 1 m desse bordo.

6 — CÁLCULO DAS LINHAS DE INFLUÊNCIA DOS ASSENTAMENTOS DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS

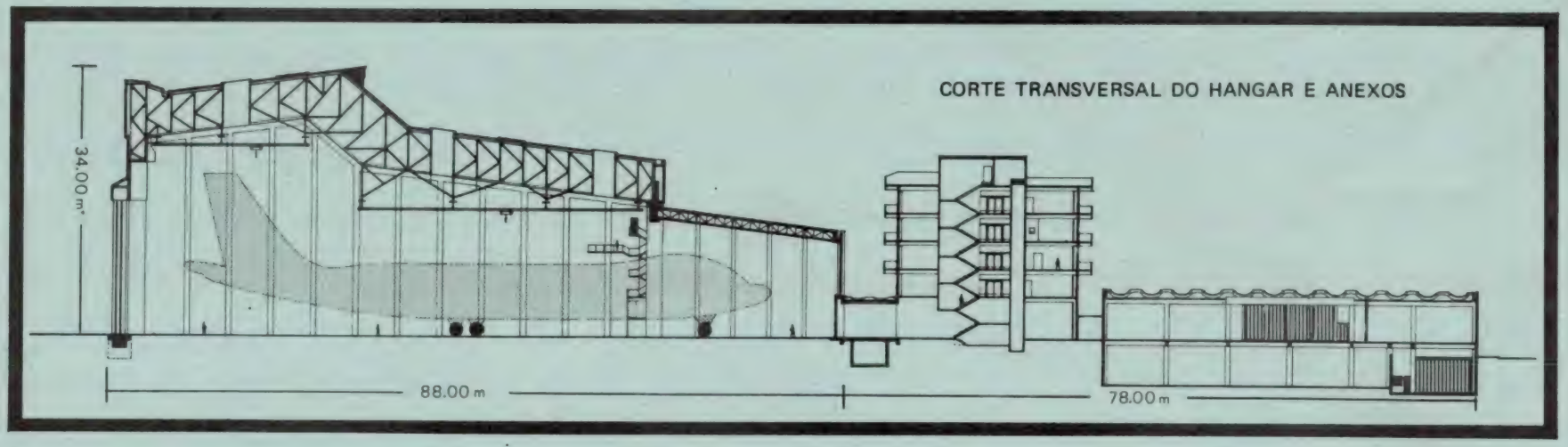
6.1 — Método desenvolvido

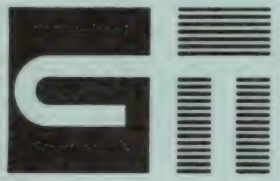
6.1.1 — Dadas as características usuais do comportamento das estradas, a interpretação dos deflectogramas poderá realizar-se, na prática, por comparação destes com as linhas de influência dos assentamentos devidos a cargas circulares fixas, aplicadas na superfície de sistemas estratificados constituídos por camadas elásticas.

Certos autores consideram os assentamentos da superfície de tais sistemas, por resultarem do achatamento das suas várias camadas, como sendo determináveis a partir dos módulos de elasticidade dessas camadas, utilizando as expressões dos achatamentos das camadas de igual módulo de elasticidade em que se pode dividir um meio homogéneo semi-indefinido, elástico e isótropo [19]. Como se disse, não parece aceitável aplicar a sistemas constituídos por camadas de diversos módulos de elasticidade os valores deduzidos para a hipótese do módulo de elasticidade igual em todas elas. Assim, para sistemas

NOVO HANGAR DA TAP

para jumbo-jets (Jactos para 370 passageiros)





EMPREITADA GERAL A CARGO DE

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, S.A.R.L.

DEMAG EQUIPA TODA A INDUSTRIA

Mais uma solução para os vossos problemas de elevação!

O novo «Demag Junior» deu as melhores provas nos ensaios práticos a que foi sujeito.
Equipado com corrente de elos de alta resistência, com um coeficiente de segurança dez vezes superior à sua capacidade nominal, dispõe de um acoplamento de fricção anti-desgaste que o protege contra sobrecargas e erros de manobra.

Para capacidades de 125, 250, 500 e 1000 Kg., podendo dispor de duas velocidades de elevação-normal e de precisão.
A sua utilização em conjunto com o

Sistema Demag Junior: pequenas gruas de parede e de coluna, pequenas pontes rolantes suspensas e monorails suspensos, de fácil montagem, constitui a resolução económica, racional e prática dos problemas da sua indústria.
Consulte-nos no seu próprio interesse e a nossa resposta será: Servir!

ROMAR
ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDUSTRIA

SOCIEDADE COMERCIAL ROMAR, LDA.

LISBOA – TRAVESSA DA GALE, Nº 9 TEL. 635670 / 634061 • PORTO – R. DE SÁ DA BANDEIRA, Nº 589/603 TEL. 25871/32205

em dupla camada, tal método conduz a valores que são semelhantes aos correspondentes ao cálculo exacto apenas para relações inferiores a 3. [20] dos módulos de elasticidade das camadas.

Ora, para sistemas constituídos por mais de uma camada, não se encontraram ábacos ou tabelas que permitissem determinar com facilidade os assentamentos superficiais, fora do centro da carga, pois embora a análise habitual seja válida para qualquer ponto quer do eixo da carga quer situado fora deste, é usual, por simplicidade de integração, programar o cálculo para pontos situados apenas no eixo da carga.

Considera-se geralmente que se for necessário realizar cálculos, para pontos situados fora da vertical do centro da carga, estes cálculos terão de incluir numerosos pontos, sendo portanto mais adequado utilizar os métodos das diferenças finitas, ou dos elementos finitos. A interpretação dos deflectogramas, que poderá basear-se nos assentamentos medidos por exemplo às distâncias 2r, 4r, 6r, 8r e 10r do centro da carga, encontra-se neste caso.

Tais cálculos, para possuírem utilidade prática, devem cobrir uma gama bastante extensa de relações de módulos de elasticidade e de espessuras das camadas, o que conduzirá a um apreciável número de casos e portanto a um custo de cálculo bastante elevado, visto a «malha» que parece necessário considerar ser bastante apertada [21].

Dados os condicionamentos do problema, em particular o facto de os deflectogramas serem registos das deflexões reversíveis a distâncias ao centro da carga, iguais ou superiores a 2r, pareceu que a solução mais conveniente seria criar um método expedito, para o cálculo das linhas de influência dos assentamentos da superfície de sistemas constituídos por camadas, baseado no princípio de St. Venant. Com efeito, os assentamentos da superfície de um meio homogéneo semi-indefinido, elástico e isótropo, provocados por forças concentradas, são iguais aos provocados por forças circulares uniformes, de intensidade igual, para as distâncias, ao centro destas últimas forças, superiores a dois raios do círculo carregado.

Contudo, como pareceu preferível utilizar os numerosos valores já calculados, por diversos autores, para a hipótese da carga circular uniforme, recorreu-se ao método que se descreve à seguir e se baseia tambem naquele princípio [2].

6.1.2 — O assentamento δ_r no centro de uma carga circular uniforme, fixa, de raio r, aplicada na superfície de um meio homogéneo semi-indefinido é, como se viu (4.2.3), dado por:

$$\delta_r = \frac{2\ (1-\mu^2)\ \sigma_r}{E}\ .$$

Considerando cargas circulares uniformes de raios sucessivamente 3r, 5r, 7r, ..., os correspondentes assentamentos, no centro, serão:

$$\delta_{3r} = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_{3r}}{E} = 3\,\delta_r$$

$$\delta_{5r} = 5\,\delta_r$$

$$\delta_{7r} = 7\,\delta_r$$

. . . . . .

Se designarmos a área do círculo de raio r por 1, teremos:

$$S = r^2\pi = 1$$
$$S_{3r} = 9$$
$$S_{5r} = 25$$
$$S_{7r} = 49$$
. . . . .

As áreas das coroas circulares de raio médio R = 2r, 4r, 6r, 8r, .. que se obtêm a partir daqueles círculos, tomados dois a dois, sucessivamente, serão:

R = 2r	S = 9 − 1 = 8
4r	S = 25 − 9 = 16
6r	S = 49 − 25 = 24
. . . .	. . . . .

A tensão uniforme σ, aplicada sobre essas coroas circulares, dará lugar a assentamentos, no centro, de:

R = 2r	3r − r = 2_r
4r	5r − 3r = 2_r
6r	7r − 5r = 2_r
. . . .	. . . . .

Se dividirmos essas coroas circulares respectivamente em 8, 16, 24, ... partes iguais, cada um desses segmentos circulares, de área

S = 1, provocará um asssentamento, no centro, de, respectivamente:

R = 2r	$\delta'_{2r} = 2\,\delta_r/8$ ou	$\delta'_{2r}/\delta_r = 0{,}25000$
4r	$\delta'_{4r} = 2\,\delta_r/16$	$\delta'_{4r}/\delta_r = 0{,}12500$
6r	$\delta'_{6r} = 2\,\delta_r/24$	$\delta'_{6r}/\delta_r = 0{,}08333$
8r	$\delta'_{8r} = 2\,\delta_r/32$	$\delta'_{8r}/\delta_r = 0{,}06250$
10r	$\delta'_{10r} = 2\,\delta_r/40$	$\delta'_{10r}/\delta_r = 0{,}05000$
12r	$2\,\delta_r/48$	0,04166
. . . . .	. . . . .	. . . . .

A menos uma diferença de forma entre cada um dos segmentos circulares e o círculo de raio *r*, a qual, pelo princípio de St. Venant, não deverá ter influência apreciável, estes valores de δ'_{nr}/δ_r serão os assentamentos provocados no centro das coroas por uma carga circular uniforme, de tensão σ e raio *r*, situada às distâncias 2r, 4r, 6r, ... dele, tomando como unidade o assentamento provocado por essa carga no seu próprio centro. Estes assentamentos relativos $\delta'_{nr}\,\delta_r$ servirão, pelo princípio da reciprocidade, para traçar a linha de influência dos assentamentos provocados por uma carga circular uniforme na superfície de um meio homogéneo semi-indefinido, elástico e isótropo.

Os valores assim obtidos distinguem-se pouco quer dos que se calcularam utilizando as tabelas de Ahlvin e Ulery [22], quer dos que foram determinados a partir da expressão dos assentamentos provocados por uma carga concentrada (Quadro II). A aproximação do método descrito é portanto adequada à interpretação de deflectogramas, dada a distância mínima do ponto ensaiado ao centro das superfícies de contacto dos pneus com o pavimento.

Por outro lado, o método é aplicável a qualquer expressão do assentamento, no centro de uma carga circular uniforme, perpendicular à superfície de um meio estratificado ou não, visto esse assentamento ser proporcional ao raio da carga.

QUADRO II

Assentamentos relativos, na superfície de um meio homogéneo semi-indefinido, elástico e isótropo

Devidos a uma carga circular de raio r

Distância ao centro nr	Assentamentos relativos δ'_{nr}/δ_r		Diferenças (2) — (1)	Valores relativos das diferenças $\frac{(2)-(1)}{(1)}$
	Segundo Ahlvin e Ulery (1)	Método apresentado (2)		
0	1,0000	1,0000	—	—
2 r	0,2584	0,2500	— 0,0084	— 3,2 %
4 r	0,1260	0,1250	— 0,0010	— 0,8
6 r	0,0831	0,0833	0,0002	0,2
8 r	0,0629	0,0625	— 0,0004	— 0,6
10 r	0,0496	0,0500	0,0004	0,8
12 r	0,0417	0,0417	0,0000	0,0
14 r	0,0351	0,0357	0,0006	1,7 %

Devidos a uma carga concentrada, tomando como unidade o assentamento no centro duma carga circular uniforme

Distância à carga R	Assentamentos relativos δ'_R/δ_r
0	
2 r	0,2500
4 r	0,1250
6 r	0,0833
8 r	0,0625
10 r	0,0500
12 r	0,0417
14 r	0,0357

Assentamento provocado por uma carga concentrada *Q*, à distância R: $\delta'_R = \frac{1}{R} \cdot \frac{(1-\mu^2)\,Q}{\pi E}$

Fazendo R = nr, vem: $\delta'_R = \frac{1}{nr} \cdot \frac{(1-\mu^2)\,Q}{\pi E}$

Assentamento no centro de uma carga circular uniforme, de raio *r*: $\delta_r = \frac{2}{r} \cdot \frac{(1-\mu^2)\,Q}{\pi E}$

Assentamentos relativos: $\delta'_R/\delta_r = \frac{1}{2n}$

Servirá portanto para determinar as linhas de influência dos assentamentos da superfície de sistemas constituídos por qualquer número de camadas, desde que se possa calcular o assentamento no centro duma força circular uniforme, de raio qualquer, perpendicular à superfície do sistema. Tem a vantagem de ser rápido e simples, o que se julga de grande interesse prático na interpretação dos deflectogramas.

6.1.3 — No caso da carga «rígida», a utilização do método conduz aos mesmos resultados, pois a influência da «rigidez» deixa de se manifestar a partir duma distância, à carga, da ordem de 2r [20].

Paralelamente, parece poder-se considerar que os deflectogramas serão relativamente pouco influenciados pelas irregularidades da superfície e da tensão de contacto dos pneus com o pavimento o que é, em certa medida, favorável à sua interpretação.

6.2 — *Sistemas em dupla camada*

6.2.1 — O assentamento no centro de uma força circular uniforme, de raio r e tensão σ, perpendicular à superfície de um sistema estratificado, é dado por: $\delta = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_s}\,.\,F_w$ sendo E_s o módulo de elasticidade da camada inferior, μ o coeficiente de Poisson das camadas e F_w um «coeficiente de assentamento», função do coeficiente de Poisson e das relações entre os módulos de elasticidade e entre as espessuras das camadas.

As linhas de influência dos assentamentos dependerão portanto de tais relações, no caso dos sistemas constituídos por camadas de características distintas. Para o caso do meio homogéneo semi-indefinido, elástico e isótropo, a linha de influência é, como se viu, independente quer do módulo de elasticidade quer do coeficiente de Poisson, podendo considerar-se F_w como constante, de valor 1.

6.2.2 — Os «coeficientes de assentamento» para sistemas em dupla camada, calculados por Burmister, para a hipótese do coeficiente de Poisson de ambas as camadas ser 0,50, são função da relação h/r entre a espessura da camada superior h e o raio da carga r, e da relação E_2/E_1 entre o módulo de elasticidade da camada E_1, e o do meio homogéneo semi-indefinido E_2. A precisão dos coeficientes é, segundo o autor, da ordem de 2 % [23].

O assentamento no centro de uma força circular uniforme, de intensidade Q e raio r, perpendicular à superfície de um sistema de duas camadas, de módulos de elasticidade E_1 e E_2, pode ser também calculado a partir das tabelas de Jones, para sistemas em tripla camada, igualando o módulo de elasticidade de duas das camadas [24].

A expressão do assentamento é, neste caso: $\delta = \frac{Q}{\pi\, r\, E_1}\,.\,F\,[h/r;\ E_2/E_1]$ forma menos cómoda do que a anterior mas que pode ser fàcilmente transformada naquela, correspondendo-lhe então valores dos coeficientes de assentamento análogos aos calculados por Burmister (Fig. 10).

Os valores de F tabelados têm, segundo Jones, um erro inferior a 0,1 %, e correspondem a um coeficiente de Poisson 0,35.

Há ainda tabelas de coeficientes de assentamento, normalmente menos completas do que estas, elaboradas para outros valores do coeficiente de Poisson. A comparação dos coeficientes de assentamento correspondentes aos diversos coeficientes de Poisson mostra que a influência destes nos valores dos coeficientes de assentamento é relativamente pequena, sobretudo quando o coeficiente de Poisson é igual em todas as camadas.

6.2.3 — As tabelas preparadas por Jones permitem calcular os assentamentos mesmo no caso de o módulo de elasticidade da camada superior ser menor do que o do meio homogéneo semi-indefinido, o que se afigura vantajoso para o fim em vista (5.3).

Por isso, utilizou-se o ábaco traçado a partir dos valores tabelados por este autor, após a transformação referida (6.2.2), no cálculo de cerca de 50 linhas de influência dos assentamentos provocados por uma carga uniforme, fixa, na superfície de sistemas constituídos por duas camadas. Aplicou-se com esse fim, o método descrito em 6.1, tendo-se em conta as variações do coeficiente de assentamento resultantes das sucessivas variações do raio de carga, e escolheram-se as espessuras e relações de módulos de elasticidade com maior interesse prático [2].

Como os valores obtidos dependem pouco do coeficiente de Poisson das camadas, a interpre-

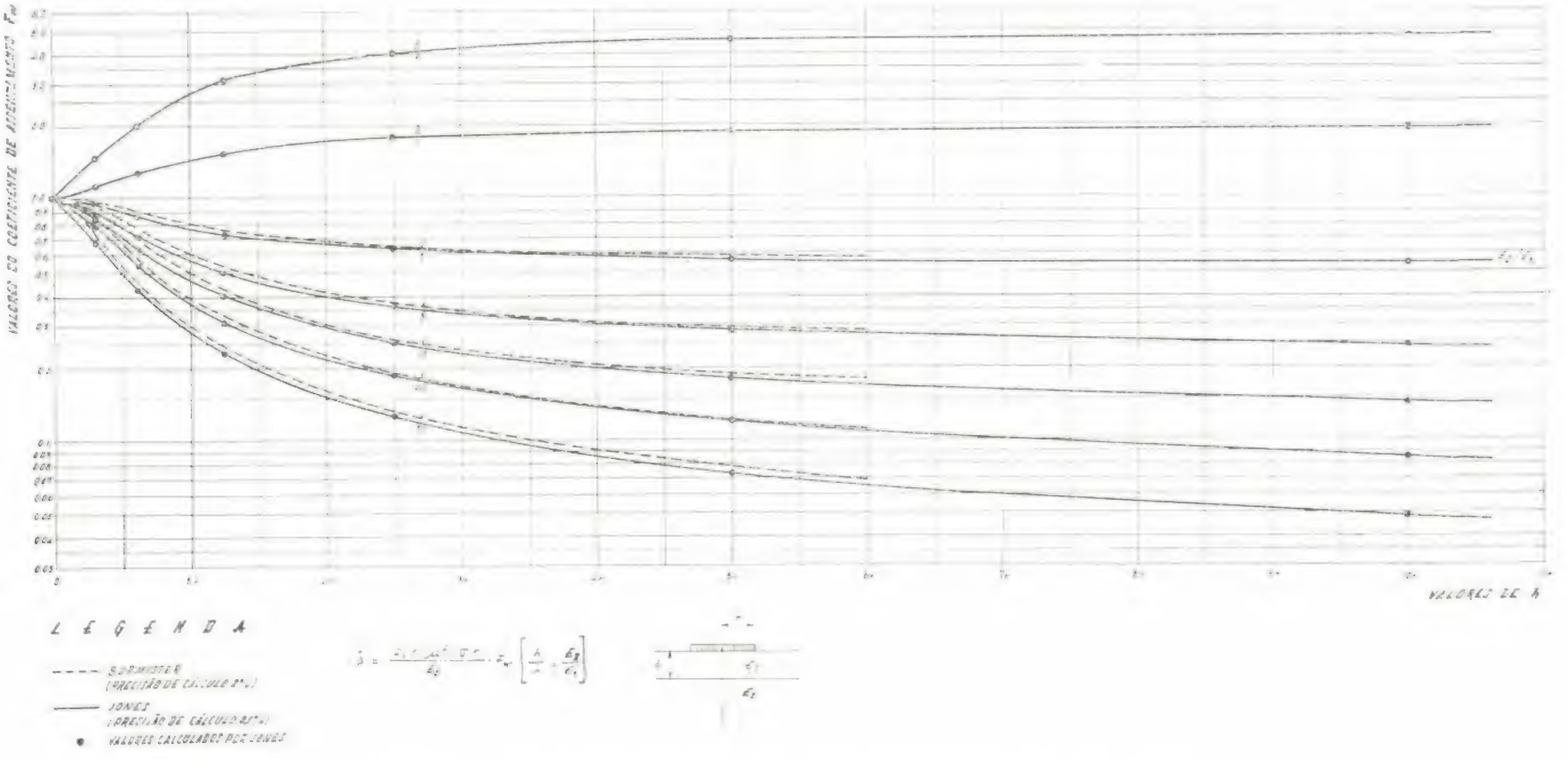


Fig. 10 — Valores do coeficiente de asssentamento calculados por Burmister e Jones

tação dos deflectogramas não permitirá determinar o valor de tal grandeza.

A determinação das linhas de influência dos assentamentos, na superfície dum sistema constituído por uma laje apoiada num meio homogéneo semi-indefinido, elástico e isótropo tem-se realizado, de modo análogo, a partir dos valores calculados por Hogg [25].

6.3 — Sistemas em tripla camada

O cálculo dos assentamentos, na superfície de um sistema em tripla camada, considerando a camada superior como assente num meio homogéneo semi-indefinido de módulo de elasticidade aparente equivalente ao do conjunto das duas camadas inferiores, apesar de ser um método de cálculo simplificado [1], revelou-se bastante satisfatório [2], por comparação com os valores determinados a partir das tabelas de Jones. Com efeito, o erro resultante da sua aplicação é pequeno, em especial para as relações mais correntes de módulos de elasticidade das camadas e de espessuras destas.

A sua utilização parece justificar-se, por isso, desde que no cálculo do módulo de elasticidade equivalente ao do conjunto das camadas inferiores se tenha em conta a influência do diâmetro da força considerada.

Por outro lado, a utilização das tabelas de Jones não é cómoda, para a determinação das linhas de influência na superfície de sistemas em tripla camada, dados os intervalos entre os valores dos parâmetros nelas utilizados, e o facto de o coeficiente de assentamento não variar linearmente com esses parâmetros, o que dificulta as interpolações e as torna, além disso, pouco precisas.

Por isso, tem-se utilizado o referido processo de cálculo simplificado, conjugado com o método descrito em 6.1, para determinar as linhas de influência dos assentamentos na superfície de sistemas em tripla camada (Anexo I).

Em virtude do comportamento habitual dos maciços terrosos, as 200 linhas de influência já cálculadas [2] correspondem sobretudo a sistemas com uma camada intermédia de módulo de elasticidade inferior ao das camadas extremas, e espessura 3r, 5r e 7r.

7 — INTERPRETAÇÃO DE DEFLECTOGRAMAS

7.1 — Como se disse, a interpretação dos deflectogramas poderá realizar-se, normalmente, embora com certo erro, considerando-os como linhas de influência dos assentamentos, na superfície de sistemas constituídos por camadas elásticas, devidos a duas cargas circulares uniformes, fixas.

Sendo assim, essa interpretação poderá basear-se nas deflexões reversíveis δ'_{nr} medidas às distâncias 2r, 4r, 6r, 8r e 10r do centro das cargas.

Ora, as linhas de influência dos assentamentos devidos a uma carga circular, que se calcularam, não são directamente aplicáveis à interpretação dos deflectogramas, visto desconhecer-se, neste caso, a deflexão reversível no centro da carga. Por isso, preparam-se tabelas dos assentamentos às distâncias 4r, 6r, 8r e 10r do centro da carga, em percentagem do assentamento que se verifica à distância 2r [2] (Anexo II). Nessas tabelas figuram também as relações entre δ_r e δ'^{2r}, e os correspondentes coeficientes de assentamento.

A interpretação dos deflectograma, com base em tais tabelas, constará de:

a) Medição, no deflectogramas, dos valores δ'_{2r}, δ'_{4r}, δ'_{6r}, δ'_{8r} e δ'_{10r}. Cálculo de $\delta''_{4r} = \delta'_{4r} / \delta'_{2r}$, $\delta''_{6r} = \delta'_{6r} / \delta'_{2r}$, $\delta''_{8r} = \delta'_{8r} / \delta'_{2r}$ e $\delta''_{10r} = \delta'_{10r} / \delta_{2r}$.

b) Conhecida a espessura *h*, da camada superior (determinada por sondagem), ou as espessuras *h*, e *H* das camadas superiores, procura-se nas tabelas o conjunto de valores δ''_{4r}, δ''_{6r}, δ''_{8r}, δ''_{10r} que melhor se ajusta aos calculados em a). Para essa série de valores, a tabela indica as correspondentes relações entre os módulos de elasticidade das camadas, entre δ_r e δ'_{2r}, e o coeficiente de assentamento F_w do sistema ensaiado.

c) A partir dos valores obtidos da tabela, calcula-se fàcilmente a deflexão δ_r no centro da carga, o módulo de elasticidade do meio homogéneo sem-iindefinido que constitui a camada inferior, e, em seguida, os módulos das restantes camadas, ficando assim determinadas as características estruturais, do pavimento ensaiado, que é viável obter por interpretação dos deflectogramas.

7.2 — No Anexo III encontra-se a interpretação do deflectograma apresentado na Fig. 9, o qual foi obtido sobre um sistema de três camadas. A espessura H da camada intermédia, que se desconhecia, foi determinada por escolha do conjunto de valores, das tabelas disponíveis, que melhor se ajusta à série δ''_{4r}, δ''_{6r}, δ''_{8r}, δ''_{10r} respectiva.

A partir dos resultados da interpretação dos deflectogramas é fácil calcular as deflexões reversíveis no centro de placas de qualquer diâmetro, e compará-las com os resultados de ensaios de carga com placas desses mesmos diâmetros, realizados nos mesmos locais. Esse cálculo e comparação apresentam-se também no Anexo III onde figuram ainda os resultados dos ensaios de carga com placa realizados.

Na apreciação dos resultados dessa comparação deve-se ter em mente a precisão quer dos dois ensaios de carga postos em causa, quer da interpretação dos seus resultados, os principais aspectos do comportamento das estradas, e a precisão dos métodos de cálculo das linhas de influência e dos assentamentos na superfície de sistemas de tripla camada.

O facto de a interpretação dos deflectogramas se ter podido realizar, até agora, considerando sistemas de apenas 2 ou 3 camadas, resulta, ao que se crê, de o diâmetro das cargas aplicadas na superfície dos pavimentos ser relativamente pequeno. Por esse motivo, a espessura da parte superior do sistema, que influencia predominantemente a capacidade de suporte, será também relativamente reduzida, e portanto constituída por um pequeno número de camadas distintas. Contudo, não parece de excluir a possibilidade de, nalguns casos, se vir a verificar que a parte superior do sistema é constituída por um maior número de camadas distintas.

Ora, apesar de as tabelas preparadas apresentarem já uma extensão bastante apreciável, não são exaustivas nem em número de camadas, nem em espessura destas, nem em relações de módulos de elasticidade, o que obriga a adoptar o valor tabelado que melhor se ajusta (embora esse ajustamento não seja por vezes total) ou a efectuar interpolações. Este aspecto reveste-se de particular importância quando, como é usual, se torna necessário determinar também, por intermédio das tabelas, a espessura H da camada de menor módulo de elasticidade, situada entre o pavimento e a parte do sistema que se comporta, para as cargas consideradas, como um meio homogéneo semi-indefinido. Por isso, iniciou-se a programação do método apresentado, com o fim de procurar realizar o cálculo automático de linhas de influência e a interpretação, também automática, dos deflectogramas.

Uma outra causa de inexactidão, na interpretação dos deflectogramas, é a presença das camadas de desgaste dos pavimentos, pois não se teve em conta a sua maior resistência, em relação às bases granulares, dada sobretudo a diminuta espessura, habitual, das camadas de desgaste.

8 — ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA INTERPRETAÇÃO DE ALGUNS DEFLECTOGRAMAS

8.1 — Os ensaios de carga cujos resultados se utilizaram no presente trabalho foram realizados em diversas campanhas de observação de estradas, efectuadas com outros fins específicos. Cada um deles é apenas um exemplo dos resultados correspondentes a um determinado troço, e a consideração dos restantes ensaios realizados nesse troço não contribuiria portanto para aumentar a variedade dos resultados analisados.

Preferiu-se por isso procurar cobrir uma gama representativa das deflexões reversíveis habituais nas estradas portuguesas, e diversificar os locais de observação, bem como a espessura de pavimento ensaiado. Assim, os 16 deflectogramas cuja interpretação se comparou com os resultados de ensaios de carga com placa foram obtidos em troços de três estradas, e nalguns arruamentos. Os correspondentes valores de δ'_{2r} variam entre 0,15 mm e 0,91 mm, cobrindo esse intervalo de modo bastante regular. As espessuras de pavimento ensaiadas variam entre cerca de 1,5 e 5 raios da superfície de contacto dos pneumáticos com o pavimento, verificando-se contudo um predomínio dos valores de 2,5 raios.

8.2 — Nos deflectogramas escolhidos para este trabalho, e em face da experiência portuguesa, distinguem-se duas tendências, no que se refere a concavidades. Assim, na maior parte deles esta parece normal (Fig. 9), e a respectiva interpretação foi efectuada a partir das tabelas preparadas para sistemas em tripla camada, em que a camada intermédia é a de menor módulo de elasticidade.

Os restantes deflectogramas, registados numa estrada acabada de reconstruir, apresentavam uma concavidade muito menor do que a usualmente observada em pavimentos flexíveis e interpretaram-se a partir dos valores tabelados para sistemas em dupla camada.

Os resultados da interpretação dos deflectogramas foram utilizados no cálculo das deflexões reversíveis no centro de placas de diâmetro 15 cm, 30,5 cm e 45,7 cm. A diferença entre os valores calculados, corrigidos para ter em conta a rigidez das placas (Anexo III), e os medidos nos ensaios de carga com placas desses diâmetros é normalmente muito pequena, em valor absoluto. Dadas as características do comportamento elástico das estradas, compararam-se também, em particular, os valores correspondentes às tensões 3 a 5 kgf/cm^2. Os resultados obtidos nestas comparações parecem satisfatórios, atendendo aos condicionamentos atrás referidos, visto os módulos das diferenças entre os valores medidos e calculados serem, em cerca de 80 % dos casos, inferiores a 20 % dos valores medidos, e, em média, da ordem dos 12 %.

8.3 — A interpretação dos deflectogramas de de concavidade normal parece confirmar a hipótese da habitual existência, na parte superior dos maciços terrosos, de uma camada mais fraca, resultante do próprio comportamento dos maciços e independente das tensões devidas às cargas de reduzida duração nele aplicadas.

As características dessa camada intermédia variavam conforme os pontos ensaiados. Em cerca de 60 % dos casos a sua espessura era da ordem dos 60 cm, e nos restantes casos da ordem de 35 ou 80 cm. Essa espessura não depende do diâmetro da carga aplicada, conforme se verificou no cálculo das deflexõss no centro das placas de diâmetro aproximado 15 cm, 30 e 45 cm, pois nesses cálculos utilizou-se o valor real da espessura, expresso em raios, da placa que se estava a considerar, O respectivo módulo de elasticidade, em cerca de 60 % dos casos, era de 1/5 do módulo de elasticidade da camada inferior, e em cerca de 30 % dos casos de 1/2 daquele.

Do ponto de vista prático, a presença da camada intermédia mais fraca parece constituir um inconveniente apreciável, por dar lugar a uma acentuada flexão do pavimento. Parece por isso que se deverá melhorar o mais possível a qualidade das sub-bases, até uma profundidade mínlma da ordem dos 60 cm.

BIBLIOGRAFIA

1 — NASCIMENTO, U. — *Método analítico simplificado para o dimensionamento de pavimentos de estradas e aeródromos*, Relat. Proc.º VII - II, Maio, 1960.
Laboratório Nacional de Engenharia Civil,

2 — PEREIRA, O. A. — *Determinação das características estruturais de pavimentos, a partir da linha de influência obtida em ensaios de carga com pneu*, Relat. Proc.º 52/5/3440, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Agosto, 1969.

3 — HIGHWAY RESEARCH BOARD — *The AASHO Road Test*, Part 5, Washington, 1962.

4 — *Thickness design* — Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets, The Asphalt Institute, Manual Series n.º 1, Maryland, U.S.A., 7.ª ed., 1963.

5 — *Recommandations pour le dimensionnement des chaussées d'autoroutes et des chaussées a trafic lourd*, Supplément au Spécial B (Essais de plaques et mécanique des chaussées), Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1964.

6 — PEREIRA, O. A. — *Apreciação dos métodos de dimensionamento do reforço de pavimentos actualmente mais em evidência*, Relat. Proc.º 52/1/2905, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Outubro, 1969.

7 — PINELA, J. S. — *Estudos relativos à determinação «in situ» da estabilidade de agregados — Fossa para ensaios*, Relat. Proc.º 52/1/926, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Julho, 1962.

8 — CASTILHO, A. J.; BRANCO, F. — *Estudo comparativo de bases granulares de pavimentos, no troço experimental de Leiria* (2.º relatório), Relat. Proc.º 52/1/924, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Agosto, 1967.

9 — HOUSEL, W. S. — *Evaluation of Pavement Performance Related to Design, Construction, Maintenance and Operation*, Highway Research Record, Washington, n.º 46, 1964.

10 — HVEEM, F. N. — *Devices for Recording and Evaluating Pavement Roughness*, Highway Research Board Bulletin, Washington, n.º 264, 1960.

11 — PEREIRA, O. A. — *Observação de alguns pontos da EN 1, situados junto ao cruzamento para Porto de Mós*, Relat. Proc.º 52/1/2905, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Janeiro, 1969.

12 — AUTUN, L.; DUCLOUX, A.; POILANE, J. — *Première étude d'application du transversoprofilographe LCPC Wauquier*, Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers, Laboratoire Central de Ponts et Chaussées, Mars-Avril, 1967.

13 — PEREIRA, O. A. — *Observação dum troço da EN 1 entre Meirinhas e Pombal* (2.º relatório), Relat. Proc.º 52/1/2905, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Maio, 1969.

14 — PEREIRA, O. A. — *Observação dum troço da EN 1 entre Venda das Raparigas e S. Jorge*, Relat. Proc.º 52/1/2905, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Abril, 1969.

15 — *Essais de plaques et mécanique des chaussées*, Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers, Spécial B, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1965.

16 — PEREIRA, O. A.; BRANCO, F. — *Estudo dum deflectógrafo de pavimentos*, Relat. Proc.º 52/1/2905, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Maio, 1967.

17 — FREITAG, D.; GREEN, A. — *Distribution of stresses on an unyelding surface beneath a pneumatic tire*, Highway Research Board, Bulletin 342, Washington, 1962.

18 — JEUFFROY, G.; BACHELEZ, J. — *Essai d'interpretation théorique de certains résultats de l'AASHO Road Test, Renforcement des Chaussées, Spécial H*, Bulletin de Liaison des Laboratoires Routiers, Laboratoire Central des Pontes et Chaussées, Paris, 1967.

19 — VESIC, A. — *Discussion*, Proc. of the International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Michigan, 1962.

20 — PEREIRA, O. A. — *Determinação de módulos de resistência de solos e agregados* (4.º relatório) — *Assentamentos da superfície de maciços terrosos.*

21 — WATERHOUSE, A. — *Stresses in layered systems under static and dynamic loading*, Proc. of the International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann. Arbor, Michigan, 1967.

22 — AHLVIN, R.; ULERY, H. — *Tabulated values for determining the complete pattern of stresses, strains and deflections beneath a uniform circular load on a homogeneous half space*, Highway Research Board, Bulletin 342, Washington, 1962.

23 — BURMISTER, D. — *The theory of stresses and displacements in layered systems and applications to the design of airport runways*, Proc. Highway Research Board, vol. 23, 1943.

24 — PEATTIE, K.; JONES, A. — *Surface deflections of road structures*, Symposium on road tests for pavement design, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1962.

25 — PEREIRA, O. A. — *Interpretação de resultados de ensaios de carga com pneu realizados em pavimentos rígidos*, Relat. Proc.º 52/1/2905, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Outubro, 1969.

ANEXO I

Cálculo da linha de influência dos assentamentos na superfície de um sistema em tripla camada

Exemplo de cálculo:

Dados:	Espessura da camada superior:	$h = 3r$
	Espessura da camada média:	$H = 5r$
	Módulo de elasticidade da camada superior:	$E_1 = 3E_3$
	Módulo de elasticidade da camada média:	$E_2 = E_3 / 2$
	Módulo de elasticidade do meio homogéneo semi-indefinido:	E_3

Cálculos:

a) Assentamentos no centro das cargas de raios: r, 3r, 5r, 7r, ...

$$\delta_r = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \cdot F_w\left[5r/r;\ E_3 / E_2\right] . F_w\left[3r/r;\ E_{2\,.\,3} / E_1\right]$$

Do ábaco dos valores de F_w tira-se:

$$F_w\left[5r/r;\ 2/1\right] = 1{,}90 \qquad E_{2\,.\,3} = \frac{E_3}{1{,}90} \qquad F_w\left[3r/r;\ 1/5{,}7\right] = 0{,}316$$

$$\delta_r = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \,.\, 1{,}90 \,.\, 0{,}316 = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \,.\, 0{,}6$$

TINTA

ANTI-CORROSIVA ESPECIAL

Para a pintura de:

DEPÓSITOS DE ÁGUA POTÁVEL E OUTROS
CALDEIRAS
MÁQUINAS
TURBINAS
ESTRUTURAS ABAIXO DOS PAVIMENTOS
ISOLAMENTOS DAS TUBAGENS
ESTRUTURAS METÀLICAS
MATERIAL CIRCULANTE
GUINDASTES
POSTES
PAVIMENTOS DE AÇO, FERRO, MADEIRA, TIJOLO, PEDRA E CIMENTO EXPOSTOS AO TEMPO, ETC.

GRANDE RESISTÊNCIA AO CALOR

REPRESENTANTE:

MENDES DE ALMEIDA

COMÉRCIO E INDÚSTRIA, S. A. R. L.

AV. 24 DE JULHO, 52 LISBOA-PORTUGAL TEL. 667710

SOMAGUE

Sociedade de Empreitadas SOMAGUE, S. A. R. L.

RUA CARLOS TESTA, 1 — LISBOA

EMPREITEIRO GERAL DA CONSTRUÇÃO DA DOCA SECA

«ALFREDO DA SILVA»

PARA A LISNAVE

ADJUDICAÇÃO DA EMPREITADA — OUTUBRO 1969

INAUGURAÇÃO DA DOCA — JUNHO 1971

PRAZO DE EXECUÇÃO 20 MESES

anàlogamente:

$$\delta_{3r} = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_{3r}}{E_3} \cdot F_w\left[5r/3r\,;\,E_3/E_2\right] \cdot F_w\left[3r/3r\,;\,E_{2\,.\,3}/E_1\right]$$

$$F_w\left[5r/3r\,;\,2/1\right] = 1{,}66 \qquad E_{2\,.\,3} \cdot \frac{E_3}{1{,}66} \qquad F_w\left[3r/3r\,;\;1/4{,}98\right] = 0{,}56$$

$$\delta_{3r} = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_{3r}}{E_3} \cdot 1{,}66\,0{,}56 = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \cdot 2{,}79 = 4{,}65\ \delta_r$$

$$\delta_{5r} = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \cdot 1{,}45\,0{,}755 = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \cdot 5{,}47 = 9{,}12\ \delta_r$$

$$\delta_{7r} = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \cdot 7{,}94 \qquad 13{,}23\ \delta_r$$

$$\delta_{9r} = \frac{2\,(1-\mu^2\,\sigma_r}{E_3} \cdot 10{,}38 \qquad 17{,}30\ \delta_r$$

$$\delta_{11r} = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \cdot 12{,}41 \qquad 20{,}68\ \delta_r$$

$$\delta_{13r} = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \cdot 14{,}48 \qquad 24{,}13\ \delta_r$$

. . . . . .

b) Assentamentos no centro das coroas circulares de raio médio

R = 2r, 4r, 6r, 8r, . . .

R = 2r	$\delta_{3r} - \delta_r$	=	3,65 δ_r
4r	$\delta_{5r} - \delta_{3r}$	=	4,47 δ_r
6r	$\delta_{7r} - \delta_{5r}$	=	4,11 δ_r
8r			4,07 δ_r
10r			3,38 δ_r
12r			3,15 δ_r
. . . . .			. . . .

c) Assentamentos relativos:

$$\delta_r = \frac{2\,(1-\mu^2)\,\sigma_r}{E_3} \times 0{,}6 = 1{,}000 \qquad 100{,}0\ \%$$

R = 2r	$\delta'_{2r} = 3{,}65\ \delta_r/8$	$\delta'_{2r}/\delta_r = 0{,}456$	45,6
4r	$\delta'_{4r} = 4{,}47\ \delta_r/16$	$\delta'_{4r}/\delta_r = 0{,}279$	27,9
6r	$\delta'_{6r} = 4{,}11\ \delta_r/24$	$\delta'_{6r}/\delta_r = 0{,}171$	17,1
8r	$\delta'_{8r} = 4{,}07\ \delta_r/32$	$\delta'_{8r}/\delta_r = 0{,}127$	12,7
10r	$\delta'_{10r} = 3{,}38\ \delta_r/40$	$\delta'_{10r}/\delta_r = 0{,}085$	8,5 %
. . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .

ANEXO II

Tabela para interpretação de deflectogramas

(Sistema em tripla camada)

H	E_3/E_2	h = 2,5 r							
		$E_1 E_3$	δ_{2r}	δ_{4r}	δ_{6r}	δ_{8r}	δ_{10r}	F w	δ_{2r}/δ_{0r}
3 r	2	1	100,0	44,0	27,1	19,5	14,3	1,224	26,6
		2							
		3	100,0	58,7	35,6	22,4	15,3	0,630	42,4
		4							
		5	100,0	60,0	37,2	28,8	19,5	0,477	51,3
	5	1	100,0	33,5	20,1	10,7	10,7	1,680	31,9
		2							
		3	100,0	43,5	28,6	16,8	10,0	0,966	45,1
		4							
		5	100,0	50,1	31,9	18,2	12,8	0,756	51,7
	8	1	100,0	28,3	14,6	10,3	5,9	2,142	32,1
		2							
		3	100,0	39,8	18,0	14,2	9,0	1,197	47,2
		4							
		5	100,0	43,5	23,8	15,2	8,8	0,977	51,3
5 r	2	1	100,0	46,6	24,3	18,6	14,2	1,241	29,6
		2							
		3	100,0	55,7	35,6	23,7	18,4	0,714	41,8
		4							
		5	100,0	61,6	37,1	27,3	20,8	0,489	55,4
	5	1	100,0	38,6	15,0	11,5	5,5	1,755	39,9
		2							
		3	100,0	51,5	23,6	14,0	9,3	0,990	55,1
		4							
		5	100,0	56,0	27,9	15,3	11,8	0,796	60,9
	8	1	100,0	42,3	14,3	6,6	6,6	2,170	41,1
		2							
		3	100,0	51,2	21,1	9,3	4,1	1,360	58,2
		4							
		5	100,0	52,3	22,8	13,8	7,9	1,015	64,4

ANEXO III

Interpretação dos deflectogramas

Leituras do deflectograma: (Fig. 9)

EN 1 km 154 400 E
Ponto 17

Distâncias ao centro do pneu ($r = 11,5$ cm)	Deflexões reversíveis δ_{nr} (mm)	$\delta'_{nr/2}$ (mm)	$\delta'_{nr/2}$ em percentagem de $\delta'_{2r/2}$
2r	$\delta_{2r} = 0,470$	0,235	100,0
4r	$\delta_{4r} = 0.152$	0,076	32,3
6r	$\delta_{6r} = 0,092$	0,046	19,6
8r	$\delta_{8r} = 0,050$	0,025	10,6
10r	$\delta_{10r} = 0,038$	0,019	8,1

Interpretação das leituras do deflectograma:

$h = 1,5 \cdot r$ $\quad E_1 = 3 \cdot E_3$ $\quad F_w = 1,381$

$H = 3 \cdot r$ $\quad E_2 = 1/5 \cdot E_3$ $\quad \delta'_{2r/} \delta_r = 0,410$

$\delta''_{nr/2}$ medidos	$\delta''_{nr/2}$ tabelados	$\delta''_{nr/2}$ tabelados	Diferenças	Diferenças
32,3	31,5		− 0,8	
19,6	17,6		− 2,0	
10,6	11,7		+ 1,1	
8.1	9,0		+ 0,9	

Determinação dos módulos de elasticidade das camadas:

Deflexão no centro do pneu $\delta_r = \dfrac{\delta'_{2r}}{2 \times 0,410} = 0,0573$ cm

$$E_3 = \frac{1,5\ \sigma_r}{\delta_r} \cdot F_w = 2328 \text{ kgf/cm}^2$$

$E_1 = 3 \cdot E_3 = 6984$ kgf/cm²

$E_2 = 1/5 \cdot E_3 = 466$ kgf/cm²

$h = 1,5 \cdot 11,5 = 17,25$ cm $\quad$ espessura real = 18,0 cm

$H = 3 \cdot 11,5 = 34,50$ cm

Cálculo das deflexões no centro das placas

Coeficiente de assentamento, na superfície do solo:

Placa ϕ 15 cm $F_{w15}\left[\frac{H}{7,5};\frac{E_3}{E_2}\right] = 4,500$

ϕ 30,5 cm $F_{w30}\left[\frac{H}{15,25};\frac{E_3}{E_2}\right] = 3,900$

ϕ 45,7 cm $F_{w15}\left[\frac{H}{22,86};\frac{E_3}{E_2}\right] = 3,350$

Deflexões na superfície do pavimento, para $\sigma = 1$ kgf / cm²

Placa ϕ 15 $\delta = \frac{11,25}{E_3} \cdot F_{w15} \cdot F'_w\left[\frac{h}{7,5};\frac{E_3}{E_1}\cdot\frac{1}{F_{w15}}\right] = 0,0051$ cm

ϕ 30 $\delta = \frac{22,88}{E_3} \cdot F_{w30} \cdot F'_w\left[\frac{h}{15,25};\frac{E_3}{E_1}\cdot\frac{1}{F_{w30}}\right] = 0,0155$ cm

ϕ 45 $\delta = \frac{34,29}{E_3} \cdot F_{w45} \cdot F'_w\left[\frac{h}{22,86}\cdot\frac{E_3}{E_1}\cdot\frac{1}{F_{w45}}\right] = 0,0276$ cm

Comparação dos valores medidos e calculados

Placas	Tensões (kgf/cm²)	Deflexões reversíveis medidas (mm)	Deflexões calculadas (mm)	Deflexões calculadas corrigidas (mm)	Diferenças (mm)	Diferenças, em percentagens dos valores medidos
ϕ 15 cm	1	0,05	0,05	0,04	— 0,01	20
	2	0,09	0,10	0,08	— 0,01	11
	3	0,12	0,15	0,12	0,00	0
	4	0,16	0,20	0,16	0,00	0
	5	0,20	0,25	0,20	0,00	0
ϕ 30 cm	1	0,12	0,16	0,13	+ 0,01	8
	2	0,21	0,31	0 25	+ 0,04	19
	3	0,32	0,47	0,38	+ 0,06	19
	4	0,42	0,62	0,50	+ 0,08	19
	5	0,52	0,78	0,62	+ 0,10	19
ϕ 45 cm	1	0,24	0,28	0,22	— 0,02	8
	2	0,45	0,55	0,44	— 0,01	2
	3	0,60	0,83	0,66	+ 0,06	10
	4					
	5					

Plessey Automática Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

Fabricante de Material Telefónico, Telecomunicações e Sinalização de Trânsito

Administração, Fábrica e Escritórios:

Avenida Infante D. Henrique, 333 — Lisboa
Telefone 31 31 71

Apartado 1060 — Telegramas: PLESSEY
TELEX 1190 PAEP P

DELEGAÇÕES:

Norte — Rua Gonçalo Cristóvão, 140 - 2.° Esq.
Porto — Telef. 3 39 26 - 38 01 38

Angola — Avenida General Carmona, 70/70 - A
Luanda - Angola — Caixa Postal 6853
Telefone 2 36 21

Moçambique — Rua da Electricidade, 4
Lourenço Marques - Moçambique
Caixa Postal 2686, Telefone 2 56 18

Bem isolado- apesar do calor e da humidade

Como aglutinante para materiais resistentes ao calor são especialmente apropriadas as

Resinas de Silicone Wacker

Estratificados colados com silicones e fabricados à base de mica (por exemplo em ferros de engomar), de seda de vidro, ou amianto mostram propriedades térmicas excelentes. As Resinas de Silicone Wacker são resistentes a temperaturas constantes até + 200° C. Suportam cargas por curto tempo até + 300° C e resistem a imersões em água e secagens alternadas, sem que seja modificada a estrutura do isolamento de silicone. A sua alta resistência dieléctrica permanece inalterada.
Os isolamentos de cabos e condutores, peças moldadas e injectadas ou tubos de

Caucho de Silicone Wacker

resistem a temperaturas extremas.
O Caucho de Silicone é resistente ao envelhecimento e conserva-se elástico.

Consulte-nos e nós colocaremos à sua disposição a nossa assistência técnica e as informações mais pormenorizadas.

WACKER-CHEMIE GMBH MÜNCHEN
Alemanha

Em Portugal:
Hoechst Portuguesa, Lda.
Avenida Sidónio Pais, 379 - Tel. 67051 - Porto
Avenida Duque d'Avila, 169-1° - Tel. 45141 - Lisboa

HIDREL

TÉCNICA DE HIDRÁULICA
E DE ELECTRICIDADE, LDA.

Grupos moto e electro-bomba
Grupos electro-bomba submersíveis
Grupos de eixo vertical «JOHNSTON»
Contadores para líquidos «LANGE»
Aparelhagem de medida «METRIMPEX»
Motores Eléctricos
Hidro-injectores
Válvulas e torneiras
Manómetros e Vacuómetros «HAENNI»
Rega por aspersão

ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Rua do Alecrim, 47-A-B — Rua do Lumiar, 113
Telefs. 32 57 00 - 3 59 66 LISBOA Telef. 79 03 55

HOJE E SEMPRE... os aglomerados

ISOLA

ISOLA

– para isolamentos térmicos
acústicos
vibráticos

FAZEM PARTE INTEGRANTE
DA ARQUITECTURA MODERNA

Soc. Comercial de Isolamentos
de Cortiça, Lda.

AV. ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 17
LISBOA
Tel: 53 71 91 Teleg: Isola

10.000 obras realizadas

- coberturas
- perfis especiais
- vigas pré-esforçadas
- pavimento trief
- protecção de segurança
- mosaicos
- tubos

materiais novobra

PAVIMENTOS
EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADOS (HOMOLOGADOS PELO LAB. NAC. DE ENGENHARIA CIVIL)

LEIRIA
PONTE DAS MESTRAS
TEL. 2 17 44

LISBOA
AV. EST. UNIDOS DA AMERICA, 100 - 1.º Dto.
TEL. 77 16 33 - 77 49 31

LAGOA
ESTRADA DO CARMO
TEL. 54

FUNDAÇÕES
ESPECIAIS

JOHANN KELLER
CASCAIS

U. D. C. 539 31 : 531/531.2

CONCEITOS BÁSICOS PARA O ESTUDO DA MECÂNICA DOS CORPOS CONTÍNUOS — ESPECTRO MECÂNICO (*)

por ANTÓNIO DUARTE SILVA
EDUARDO C. MARÇAL GRILO

Engenheiros mecânicos, Estagiários para Especialista do Serviço Técnico Geral do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Assistentes do Instituto Superior Técnico

RESUMO

É objectivo deste trabalho apresentar alguns conceitos fundamentais para estudo do comportamento mecânico dos materiais considerados como corpos contínuos.

Dois exemplos são apresentados, a fim de tornar clara a aplicação dos conceitos estudados a casos de utilização prática.

SYNOPSIS

It is the object of this article to present the basic concept of a continuum approach to mechanics of materials. To illustrate this, two examples are given where it is shown how to approach and solve two particular problems, one for a solid body and another for fluid mechanics.

1 — INTRODUÇÃO

Procura-se com este trabalho estudar problemas de equilíbrio estático ou dinâmico em corpos (sólidos, líquidos ou gasosos) considerados como sistemas cuja, massa se encontra contìnumente distribuída. Este conceito, como se reconhece, está em oposição àquele em que os sistemas são considerados como discretos, isto é, em que a massa é considerada concentrada em pontos do sistema.

Esta definição de corpo contínuo implica para todos os corpos (sólidos, líquidos ou gasosos) uma densidade bem definida em cada ponto.

2 — CONCEITOS BÁSICOS

Existem quatro aspectos fundamentais a encarar quando se aborda um problema em mecânica de corpos contínuos:

1) Equilíbrio
2) Compatibilidade
3) Relações tensão — extensão
4) Condições aos limites

No primeiro estuda-se o equilíbrio das tensões num elemento do sistema formado por superfícies infinitesimais que no limite representam um ponto do sistema contínuo. Deste estudo obtém-se um sistema de três equações a seis incógnitas. As três equações são relativas aos três eixos coordenados considerados e das seis incógnitas três são tensões normais e três tensões tangenciais. Em linguagem tensorial:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0$$

No segundo estudam-se os deslocamentos e as relações entre as extensões. Tal como no primeiro aspecto considerado, este estudo é independente do material que constitui o corpo em causa. Do exame deste segundo aspecto obtém-se um sistema de seis equações a nove incógnitas, três relativas aos deslocamentos e seis relativas às extensões.

Fazendo o cômputo destes dois primeiros aspectos vê-se que se obtiveram ùnicamente nove equações para quinze incógnitas, sendo preciso obter mais seis relações entre as incógnitas a fim de se encontrar uma solução para o problema. Estas relações obtêm-se através do estudo dos aspectos 3) e 4).

No terceiro aspecto, que é o mais importante, pretende-se estabelecer as relações entre as tensões e as extensões de modo a definir as leis que classificam o comportamento de um dado material.

Pela primeira vez as características do material

(*) Este artigo destina-se em especial aos alunos do curso de Engenharia Mecânica do I. S. T.
Artigo recebido na redacção em 1/2/971.

aparecem como o factor do problema, sendo possível definir um espectro reológico que envolve toda a gama de comportamento mecânico de materiais.

Esquemàticamente esse espectro poderá ter a forma indicada na figura 1.

Neste espectro, e como a fig. 1 ilustra, os comportamentos extremos são o de «sólido rígido» e o de «fluido perfeito». O comportamento, ideal, destes dois materiais caracteriza-se no primeiro pela indeformabilidade, e no segundo pelo facto de a deformabilidade ser independente da acção de forças exteriores. Entre estes limites estão situados de uma forma espectral os possíveis comportamentos dos materiais.

aspectos fundamentais enunciados de modo a obter uma solução única para cada problema.

3 — EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

A fim de ilustrar a teoria exposta vão ser considerados seguidamente dois exemplos do modo como os conceitos expostos se aplicam ao estudo de um corpo sólido e ao estudo de um fluido.

1) *Corpo sólido*

Considere-se o caso de uma viga encastrada, de secção rectangular (Fig. 2) e actuada por uma carga na extremidade, para a qual se pretende obter a expressão dos deslocamentos.

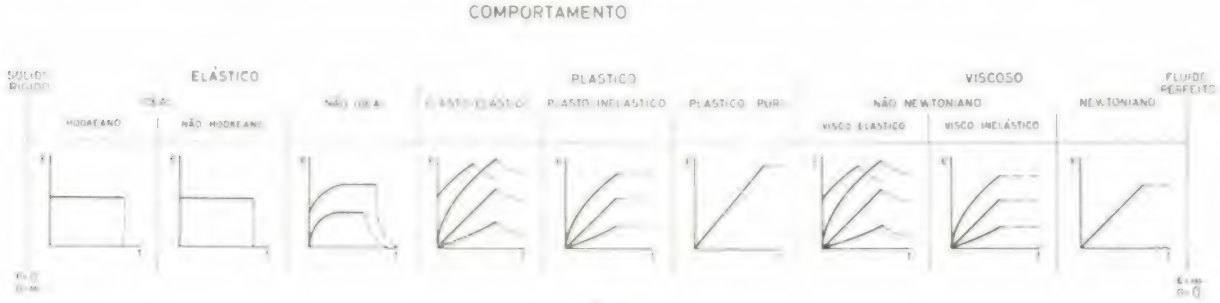


Fig. 1

Pode-se de um modo geral afirmar que é impossível localizar perfeitamente num dado ponto do espectro um determinado material, mas, no entanto, torna-se possível e fácil distinguir determinadas bandas dentro das quais o comportamento mecânico é bem definido.

No estudo de um determinado comportamento mecânico, o problema fundamental a resolver, neste aspecto (3), é o de procurar estabelecer e relacionar os parâmetros que esse comportamento põe em jogo.

Finalmente no último aspecto estudam-se as condições aos limites, isto é, pretende-se determinar o valor das constantes em pontos particulares para os quais os valores das variáveis são bem conhecidas.

Resumindo e como conclusão pode-se dizer que o conceito básico, em mecânica dos corpos contínuos, é o de considerar os materiais constituindo sistemas contínuos, isto é, sistemas com uma distribuição de massa contínua e para os quais a densidade em cada ponto é conhecida e bem definida. Para estudar o comportamento mecânico dos materiais ter-se-á que satisfazer aos quatro

Por simplificação corrente na resistência dos materiais, o problema reduz-se a duas dimensões, considerando que o que se passa numa secção plana se repete nas secções planas paralelas e dispostas normalmente em relação ao eixo dos ZZ.

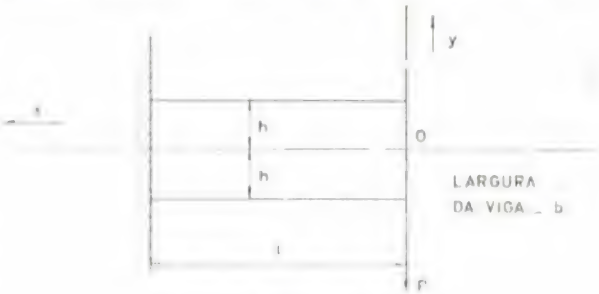


Figura 2

O problema será abordado partindo de uma função de tensão conhecida, que para ser solução terá que verificar as condições de equilíbrio, compatibilidade e as relações tensões-extensões:

A função de que se vai partir é:

$$\phi = \frac{P}{4\,bh^3}\,(x\,y^3 - 3\,h^2 xy)$$

Partindo de ϕ as tensões normais e tangenciais definem-se da seguinte forma:

$$\sigma_{xx} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{3}{2} \frac{P}{bh^3} xy$$

(1) $$\sigma_{yy} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = -\frac{P}{4bh^3} (3y^2 - 3h^2)$$

O equilíbrio das tensões será satisfeito se:

(2) $$\frac{\partial \sigma_{xx}}{dx} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0$$

O que se verifica para este caso substituindo os valores de (1) em (2).

Por sua vez a compatibilidade das extensões e deslocamentos diz que:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

(3) $$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

Considerando agora que as tensões e as extensões estão relacionadas através da lei de Hooke, ter-se-á:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{1}{E} \left(\frac{3}{2} \frac{P}{bh^3} xy \right)$$

(4) $$\varepsilon_{yy} = -\frac{1}{E} \left(\frac{3}{2} \frac{P}{bh^3} xy \right)$$

$$\varepsilon_{xy} = -\frac{2(1+\nu)}{E} \times \frac{P(3y^2 - 3h^2)}{4bh^3}$$

De (4) e (3) por integração obtém-se u e v:

$$u = \frac{1}{2} \frac{P}{EI} x^2 y + f(y) + J$$

(5) $$v = -\frac{1}{2} \frac{P}{EI} xy^2 + f(x) + H$$

J e H são duas constantes

Derivando u em ordem a y e v em ordem a x e tendo em atenção a forma da extensão tangencial virá:

$$\frac{1}{2} \frac{P}{EI} x^2 + f'(y) - \frac{1}{2} \frac{\nu P}{EI} + f'(x) = (1+\nu) \frac{P}{EI} (h^2 - y^2)$$

Definindo agora dois parâmetros α e β de tal modo que obedeçam às relações:

$\alpha = \frac{Px^2}{2EI} + f'(x)$ ùnicamente na direcção dos xx

$\beta = \frac{P}{EI} \left[(1+\nu) - \frac{1}{2} \right] y^2 + f'(y)$ ùnicamente na direcção dos yy

$$\alpha + \beta = \frac{P}{EI} (1+\nu) h^2$$

f'(x) e f'(y) tomaram os valores:

$$f'(x) = \alpha - \frac{P}{2EI} x^2$$

$$f'(y) = \beta - \frac{P}{EI} \left(1 + \frac{1}{2} \nu \right) y^2$$

que integradas e substituídas em (5) dão:

$$u = \frac{P}{2EI} x^2 y + \beta y - \frac{P}{3EI} \left(1 + \frac{1}{2} \nu \right) y^3 + L$$

(6)

$$v = -\frac{P}{2EI} x^2 y + \alpha x - \frac{P}{6EI} x^3 + M$$

Os valores de α, β, L e M podem-se determinar partindo das condições aos limites:

$$x = 1 \qquad u = y = 0 \qquad L = 0$$

por outro lado para

$$x = 1 \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad \beta = -\frac{P}{2EI} l^2$$

e também como para

$$x = 1 \quad v = y = 0 \quad \alpha = \frac{P}{6EI} l^2 - \frac{M}{l}$$

logo

$$\alpha + \beta = \frac{P}{6EI} l^2 - \frac{M}{l} - \frac{P}{2EI} l^2$$

donde

$$M = -\frac{Pl}{EI} \left[\frac{l^2}{3} + (1+\nu) h^2 \right]$$

e

$$\alpha = \frac{P}{EI} \left[\frac{1}{2} l^2 + (1+\nu) h^2 \right]$$

Finalmente substituindo estes valores em (6) e tendo em atenção que $\frac{E}{2(1+\nu)} = G$, obtém-se para os deslocamentos

$$u = \frac{P}{EI} \left(\frac{x^2 v}{2} - \frac{l^2 y}{2} + \frac{\nu y^3}{6} \right) - \frac{P}{6GI} y^3$$

(7)

$$v = \frac{P}{EI} \left(\frac{l^2 x}{2} - \frac{\nu x y^2}{2} - \frac{x^3}{6} + \frac{l^3}{3} \right) + \frac{Ph^2}{2IG} (x - l)$$

Resumindo pode-se dizer que o problema foi resolvido partindo de uma possível solução, que para tal teve de verificar os aspectos do equilí-

brio, da compatibilidade e da relação tensão--extensão. A solução final foi obtida tomando em consideração os aspectos mencionados e as condições aos limites.

2) *Fluido*

Considere-se o caso de um escoamento laminar estacionário de um fluido incompressível que se realize segundo uma direcção, entre duas paredes de comprimento infinito e para o qual se pretende determinar o deslocamento ao longo da direcção de escoamento.

O aspecto do equilíbrio e das tensões respeitante à relação tensão-extensão, podem ser reunidas numa única equação que é a equação de Navier-Stokes, que em notação vectorial toma a forma abaixo indicada;

$$(8) \qquad \frac{D\bar{V}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \bar{g} + \Theta\nabla^2\bar{v} + \frac{\Theta}{3}\nabla(\Delta)$$

A compatibilidade das expresões e deslocamentos é representada pela equação de continuidade.

$$(9) \qquad \frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla(\rho\bar{v}) = 0$$

Estas duas equações simplificam-se para este caso particular tomando em atenção as características do fluído e do escoamento:

Fluido incompressível $\frac{\partial P}{\partial t} = 0$

donde de (9)

div $\bar{v} = 0$ ou seja $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{dz} = 0$

mas como o escoamento só se dá segundo uma direcção, seja ela a direcção do eixo dos xx será: $v = w = 0$ e portanto a equação (9) reduzir-se-á a:

$$(10) \qquad \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

Quanto à equação (8), desprezando a força gravítica e tendo em atenção que o escoamento é estacionário, reduz-se à forma

$$(11) \qquad \frac{\partial p}{\partial x} = \mu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

A integração de (11) torna-se simples pelo facto de que p é independente de y e z, uma vez que o escoamento existe sòmente ao longo da direcção xx. Então para u virá:

$$(12) \qquad u = \frac{1}{2\mu}\left(\frac{dp}{dx}\right)y^2 + Ay + B$$

Esta será a solução geral que de acordo com o quarto aspecto atrás referido, as condições aos limites, permite obter o valor das constantes. Considerando que o escoamento junto às paredes é nulo e que estas estão distanciadas de h, será:

$$(u)_{h/2} = (u)_{-h/2} = 0$$

o que dá para o deslocamento

$$u = \frac{1}{2\mu}\left(\frac{dp}{dx}\right)\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right)$$

Conclui-se dizendo que, neste exemplo, tal como no primeiro, o problema foi resolvido empregando equações que satisfazem os quatro aspectos fundamentais definidos no princípio deste artigo e que constituem a base para o estudo do comportamento dos corpos contínuos ou considerados como tal.

NOTAÇÃO

σ_{xx} — tensão normal segundo xx
σ_{yy} — tensão normal segundo yy
τ_{xy} — tensão tangencial
ε_{xx} — extensão principal segundo xx
ε_{yy} — extensão principal segundo yy
ε_{xy} — distorção
u — deslocamento segundo xx
v — deslocamento segundo yy
w — deslocamento segundo zz
P — carga aplicada
E — módulo de Young
ν — cœficiente de Poisson
I — momento de inércia
$\bar{g}$ — somatório das forças de gravidade
ρ — massa específica
p — pressão hidrostática
μ — viscosidade absoluta
Θ — viscosidade cinemática
Δ — dilatação
$\bar{v}$ — somatório dos deslocamentos

BIBLIOGRAFIA

H FORD — Advanced Mechanics of Materials
S. F BORG — Matrix-Tensor Methods in continuum mechanics
PRAGER — Introduction to Mechanics of continua
ERIGEN — Mechanics of continua
TIMOSHENKO AND GOODIER—Theory of Elasticity

Resumo dos artigos publicados na Técnica n.º 408

Ano XLVI — Maio 1971

AIRES BARROS
R. C. GRAÇA

C. D. U. 550.41 : 542.1/4 : 624.131.25

Laboratory test on cyclic «closed circuit» percolation of rocks

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pág. 417-422.

Simula-se um maciço rochoso e um túnel em rocha, sujeitos a condições intermitentes de molhagem-secagem. Primeiro submete-se o maciço ou túnel a uma percolação provocada por aspersão de um líquido a temperatura conhecida. Em seguida dá-se a circulação de uma corrente de ar quente a temperatura estabelecida. Por fim há um período de repouso. Este ciclo com três fases repete-se, automàticamente.
Ensaiaram-se simulações de maciços rochosos de sienito nefelínico e de basalto olivínico e um túnel em basalto olivínico.
Comparam-se os resultados obtidos ao fim de ensaios de 1000 ciclos.

J. P. FIGANIER

C. D. U. 621.3 : 517.512.2 : 517.63

Nota sobre a aplicação das transformadas de Fourier e de Laplace aos circuitos

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pág. 423-429.

Pretende este artigo esclarecer algumas dúvidas suscitadas pelos estudantes quanto à aplicação aos circuitos das transformadas de Laplace e Fourier.

F. DURST

C. D. U. 551.508.5 : 535.1 : 621.3

V — Introduction to laser doppler shift anemometry

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pág. 431-445.

Resumem-se os métodos ópticos propostos para o estudo do escoamento de fluídos. Indicam-se os seus fundamentos, vantagens e desvantagens.
Em particular desenvolve-se a teoria do anemómetro de «laser», baseado no efeito de Doppler. E, descrevem-se os métodos de processamento dos dados, em estudo no Imperial College.

ALMEIDA PEREIRA

C. D. U. 625.8.036 : 624.041.63

A utilização da linha de influência, obtida em ensaios de carga com pneu, na determinação das características estruturais de pavimentos

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pág. 447-474.

No presente trabalho descrevem-se em primeiro lugar, resumidamente, as técnicas adoptadas e desenvolvidas nos últimos anos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no domínio da observação e análise da geometria da superfície dos pavimentos (perfis longitudinal e transversais, fendilhamento) ou seja, da apreciação das deformações permanentes destes, e no domínio da avaliação da capacidade de suporte dos pavimentos, isto é, da caracterização do comportamento estrutural do conjunto pavimento-solo de fundação, num dado instante, por meio de ensaios de carga com placa ou com pneu. Apresenta-se em seguida, com relevo especial, o método recentemente desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, que permite determinar as características estruturais do conjunto pavimento-solo de fundação a partir da interpretação dos registos dos ensaios de carga com pneu (deflectogramas), e que parece constituir, no momento presente, um importante passo sobretudo no sentido da resolução do problema do dimensionamento do reforço de pavimentos.

DUARTE SILVA
MARÇAL GRILO

C. D. U. 539.3/ : 531/531.2

Conceitos básicos para o estudo da mecânica dos corpos contínuos — espectro mecânico

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pág. 475-480.

É objectivo deste trabalho apresentar alguns conceitos fundamentais para estudo do comportamento mecânico dos materiais considerados como corpos contínuos.
Dois exemplos são apresentados, a fim de tornar clara a aplicação dos conceitos estudados a casos de utilização prática.

Synopsis of articles published in «Técnica» nº 408

XLVI — May 1971

Almeida Pereira U. D. C. 625.8.036 : 624.041.63

Utilization of the influence lines, obtained in tire charge tests, on the determination of the structural characteristics of pavements

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pag. 447-474.

In the present work, firstly a brief description is made of the techniques the Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) has adopted and devoloped for the last few years in the domain of the observation and analysis of the geometry of pavement surfaces (longitudinal and cross sections, crazing), i. e. techniques for the assessment of pavement permanent deformations. In addition other LNEC's techniques are described which allow the bearing capacity of a pavement to be evaluated i. e. the characterization of the structural behaviour of the set soil-pavement, in a given moment, by means of plate bearing tests or tire tests. Subsequently especial consideration is given to a LNE's method by which the structural characteristics of the set pavement-foundation soil can be determined on the basis of the interpretation of tire test readings (influence lines of reversible settlements). At present such a method seems likely to be an important step towards the solution of the problem of pavement strengthening design.

Aires Barros & R. C. Graça U. D. C. 550.41 : 542.1/4 : 624.131.25

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pag. 417-422.

Laboratory test on cyclic «closed cicuit» percolation of rocks

This laboratory test was intended to simulate either a rock mass or a tunnel in a rock, exposed to intermittent moistering-drying conditions.
The percolating liquid at a pre-established temperature which is maintained during the whole test, is pumped into the sample-holder. After sprinkling, an automatic cam system starts the circulation of a warm air current over the sample. During the third stage — rest — the sample is maintained under room pressure and temperature conditions.
As during the investigation, the various types of rocks were submited to 1100 cycles, we obtained many valuable data on the effects of accelerate leaching.

Duarte Silva
Marçal Grilo U. D. C. 539.31 : 531/531.2

Basic concepts on the study of continuous bodies mechanics — mechanical spectrum

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pag. 475-480.

It is the object of this article to present the basic concept of a continuum approach to mechanics of materials. To illustrate this, two examples are given where it is shown how to approach and solve two particular problems, one for a solid body and another for fluid mechanics.

J. P. Figanier U. D. C. 621.3 : 517.512.2 : 517.63

Some notes about applyng to circuits theory Laplace and Fourier transforms

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pág. 423-429.

This article is intended to clear up some doubts about the circuit applications of the Laplace and Fourier transforms.

F. Durst U. D. C. 621.3 : 517.512.2 : 517.63

Técnica No. 408 — XLVI — 5. 1971, pág. 431-445.

Introduction to Laser Doppler — Shift Anemometry

A short summary of optical measuring techniques, proposed for fluid flow investigations, is given. The basic principles of operations are explained for the different methods and some advantages and disadvantages are pointed out.
The main part of this paper deals with laser Dopplershift anemometry which is a new and very promising method for local optical velocity measurements. With this technique the frequency shift of light, caused by scattering from smal particles moving whith the fluid, is measured. This scattered light shows an apparent change in frequency, the Doppler-shift, which can be utilised for velocity measurements.
The problems that occur when an optimal optical system is designed are outlined. Four different methods of data processing under investigation at Imperial College are described. For gas flow investigations, the range of suitable tracer particles is given and a table is presented to allow the solution of suitable scattering targets for other fluids.

BIBLIOGRAFIA

Classificadores responsaveis: Francisco Pedroso, José Xambre Bento, Maria Teresa Lemos, Pedro Rodrigues e Nuno Pinto da Silva.

Serão criticadas as obras cujo assunto esteja no âmbito da «Técnica» e de que nos sejam enviados dois exemplares.

As revistas recebidas na Redacção, de que se publica uma selecção de fichas de artigos ordenadas pela Classificação Decimal Universal, podem ser consultadas na Biblioteca da A.E.I.S.T.

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. U. 51.28

On Certain Systems of Matricial Linear Equation (II) — *J. S. L. Vitória.*

Revista de Ciências Matemáticas da Un. de Lour. Marq., 1969, n.º 1, pág. 9-14.

C. D. U. 512.83

Some Remarks on the localization of the Characteristic roots of a Matrix and on conditions for the reality simplicity of its spectrum — *G. N. de Oliveira.*

Revista de Ciências Matemáticas da Universidade de Lourenço Marques, 1969, vol. 1, pág. 1-7.

C. D. U. 512.99.99 : 538.552.9

Sur la détermination des composantes symétriques par voie analtyque dans un réshau tripeasé à trois conducteurs — *Laurian Preda.*

Bull-Inst. Pol. Din Iasi, 1968, vol. 14, n.º 3-4, págs. 339-344.

C. D. U. 513.821 : 517.9

Sur un système d'équations différentielles issues du problème de la correspondance par parallélisme en E5 — *Stefania Ruscior.*

Bul. Inst. Pol. Din Iasi, 1970, vol. XVI, n.º 1-2, pág. 9-11.

C. D. U. 519.5

On Summation of Sets — *A. H. Gameiro Pais.*

Rev. de Ciências Mat. da Un. de L. Marques, 1969, vol. 1, n.º 1, pág. 15-18.

C. D. U. 528.72 : 609 84

Study of the Deformations on Models by Photogrametric Methodes — *Ivlian Barbălată, Eugen Popa and Gh. Gaurilov.*

Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, vol. XVI (XX), n.º 1-2, pág. 37-42.

C. D. U. 531.22 : 621.135

Principe d'un calcul des forces instationnaires s'exerçant sur les Aures des Turbomachines Axiales — *Robert Legendre.*

O. N. E. R. A., 3-9-1971, n.º 1971-2, pág 61.

C. D. U. 533.691

L'Influence d'un Fuselage Conique donné sur problème de l'Optimisation d'une Aile delta en Courant Supersonique — *Adriana Nastase.*

O.N. E. R A.—La Recherche Aerospatiale, 3 e 4-71, vol 1971-2, págs. 99 a 102.

C. D. U. 535.375.5

La spectroscopie Raman éclairée aux lasers — *M. R. Booth e R. J. Gillespie.*

Endeavour, 5-70, vol. XXIX, n.º 107, pág. 89.

C. D. U. 536.2

Transmision de calor — Cambiadores tubulares indirectos — *J. Almandoz.*

Dyna, 9-1970, n.º 11, pág. 431.

C. D. U. 536.72 : 786.69.01 = 6

Interpretacion Probabilistica del flujo, la energia de activacion y la actividad en las transformaciones metalúrgicas — *E. R. Abril.*

Cenin, 2-71, vol. 7, n.º 1, pág. 17.

C. D. U. 537.12 : 537.311 (045) = 20

Anodic Protection — *R. Walker.*

Metallurgia, 8-70, vol. 82, n.º 490, pág. 51.

C. D. U. 537.226 : 543 (045) = 82

Choice of dielectric constant for calculation of complex molecular systems — *S. G. Galaktionov e G. N. Nikiforovich.*

Journal of Engineering Physics, 2-971, vol. 20, n.º 2, pág. 200.

N — Escrito em russo.

C. D. U. 539.185.9 : 545 = 690

Sobre a determinação do teor de água em materiais por meio de neutrões — *E. Martinho e F. Carvalho.*

Nota Interna do LFEN, 1970, n.º 50.

C. D. U. 539.185.9.02

Formalismo de Westcott — *H. Machado Jorge.*

Pub. do LFEN, 1969, pág. 1-44.

SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES

AMADEU GAUDÊNCIO

LIMITADA

SEDE — R. ALEXANDRE BRAGA, 4-A — LISBOA
Tel. 560051 — Telg. CONSTRUÇÃO
R. CASAL DO PEDRO, 7 — MASSARELOS — PORTO
Telefone 691245

Mais de 50 anos de experiência

CONSTRUÇÕES
CIVIS E INDUSTRIAIS
BETÃO
ARMADO E PRÉ-ESFORÇADO
CARPINTARIA
ESTUQUES
PINTURAS

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO

Rua de S. Tiago, 13

LISBOA

Telefone 861972

CALCULAR...

...instantâneamente, silenciosamente, com economia e segurança.

...programa de calculadores electrónicos de CASIO COMPUTER, Co. LTD TÓKYO-JAPÃO

...diversos modelos com as mais evoluidas características para toda a espécie de cálculos.

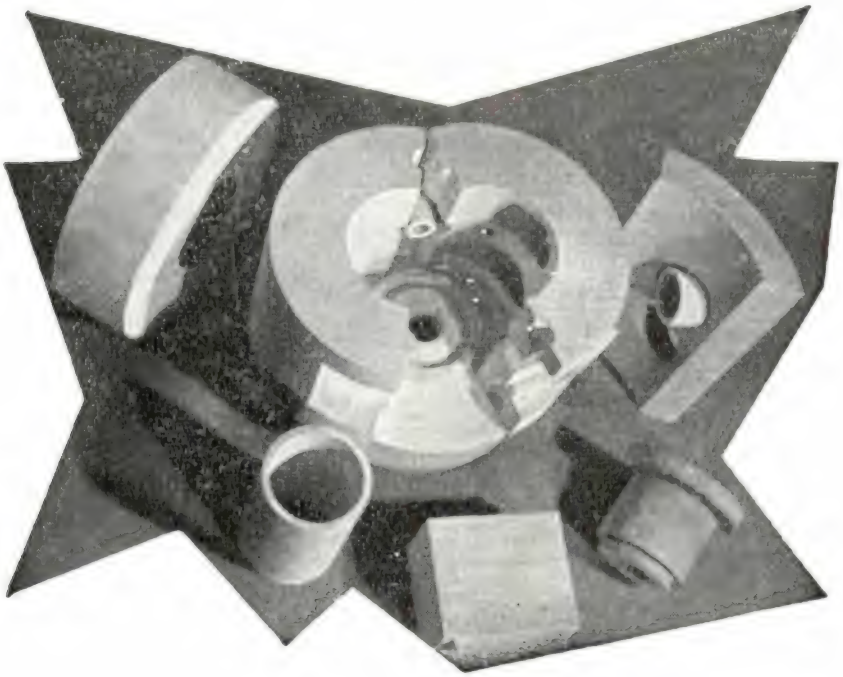
Demonstrações sem compromisso

-12 Modelos diferentes.
- 1 Programável.

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS
EFICEX KIENZLE LISBOA: Av. João XXI, 4A-tels 727028-727019
DISTRIBUIDORES NO NORTE
HORBE, LDA PORTO: Rua Faria Guimarães, 105 - tel. 433 46

a técnica moderna emprega

BETÕES REFRACTARIOS



à base dos cimentos

FONDU LAFARGE

e

SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

REFRACTÁRIOS ATE 1800° C

REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO, L.DA

P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2

C. D. U. 539.37

Étude de problemes particuliers :
1.° Théorie des equivalences — Détèrmination de quelques éléments types ;
2.° Contre ventement des structures ;
3.° Arcs surbaissés — *E. Absi.*
Annales I. T. B. T. P., 5-971.

C. D. U. 539.374.1

Mécanique des solides (plasticité fluage) — *Roger Valid.*
La Recherche Aérospatiale O.N.E.R.A., 10-2-970, n.° 1970-2, pág. 113-119.

C. D. U. 541 : 541.02 : 541.486 (045) 748

Structural studies on some complex species with bridged hidrogens — *B. D. James.*
Journal of Chemical Education, 3-971, vol. 48, n ° 3, pág. 176.

C. D. U. 541.542.63 : 547.532

A study of internal diffusion during the physical adsorption of benzene on active charcoal — *A. Zikánová and Kocirik.*
Collection of Chechoslovak Chem Comm., 3-971, vol. 36, n.° 3, pág. 1225.

C. D. U. 541.11

Thermodynamics of higroscopic state of disperse bodies — *L. G. Chernaya.*
Journal of Engineering Physics, 3-971, vol. 20, n.° 3, pág. 481.

C. D. U. 541.121.003.63 (045) = 20

The volume variable in phase diagrams — *R. H. Petrucci.*
Journal of Chemical Education, 12-970, vol. 47, n.° 12, pág. 825.

C. D. U. 541.128.12

La catalyse homogène — *J. A. Osborn.*
Endeavour, 9-967, vol. 26, n.° 99, pág. 144.

C. D. U. 541.134.3 : 543/5

O potencial electrolítico em química analítica — *A. Herculano de Carvalho.*
Revista de Física, Química e Engenharia — Universidade de Lourenço Marques, 1970, vol. 2, n.° 2, pág. 153.

C. D. U. 541.63. (045)

Recent advances in stereochemical nomenclature — *E. L. Eliel.*
Journal of Chem. Education, 3-971, vol. 48, n.° 3, pág. 163.

C. D. U. 542 : 541.135

A view of Aqueous Eletrolytes through a Watery Eye — *J. H. Hildebrand.*
Journal of Chemical Education, 4-971, vol. 48, n.° 4, pág. 224.

C. D. U. 542 : 543.31 (045) = 40

La protection des eaux — *A. Crahay.*
Energie, 4.°-t. 1970, n.° 193, pág. 123.

C. D. U. 542-92 : 542.63

Diffusion and Reverse Osmosis through Polymer Membranes — *G. R. Galvanoni, R. F. Ealon, T. K. Kwei e A. V. Tobolsky.*
Journal of Chemical Education, 4-971, vol. 48, n.° 4, pág. 226.

C. D. U. 543 : 545.844 (045) 60

Análisis por médio de la llama — *Prof. Thomas S. West.*
ION, 1-971, vol. 31, n.° 1, pág. 14.

C. D. U. 543.24 : 003.63

Representation of titration errors in logarithmic diagrams — *J. Inczedy.*
Journal of Chemical Education, 11-970, vol. 47, n.° 11, pág. 769-772.

C. D. U. 545.4 : 541.64 : 542.91

Catalytic properties of synthetic nucleophilic macromolecules — *C. G. Overberger e J. C. Salamone.*
Bol. Inst. Pol. din Iasi, 1970, vol. 16, n.° 1-2, pág. 73.

C. D. U. 548.122 : 549.752/757

Optical reflection of V_2O_5 single crystals — *I. Hevesi e B. Karvaly.*
Acta Physic Ac. Sc. Hung, 1970, vol. 29, pág. 182, n.° 2-3.

C. D. U. 551.41 (8)

Considerações cronogeológicas sobre a deriva do continente sul-americano — *Djalma Guimarães.*
R. E. M., 12-10-70, vol. XXVIII, n.° 3 pág.91.

C. D. U. 553.93 (469.322.16) : 622.335 (469.321.16)

As minas de carvão do Pejão — *António Cabral Diogo Machado.*
Boletim de Minas, 10-11-70, vol. 7, n. 4 pág. 259-281.

C. D. U. 620.179.5 : 669.15.018.252 = 6

Ensayos de Aceros para herramientas cortantes y ensayos de maquinabilidad — *J. I. Orbegozo.*
8-1970, vol. 6, n.° 4, pág. 377.

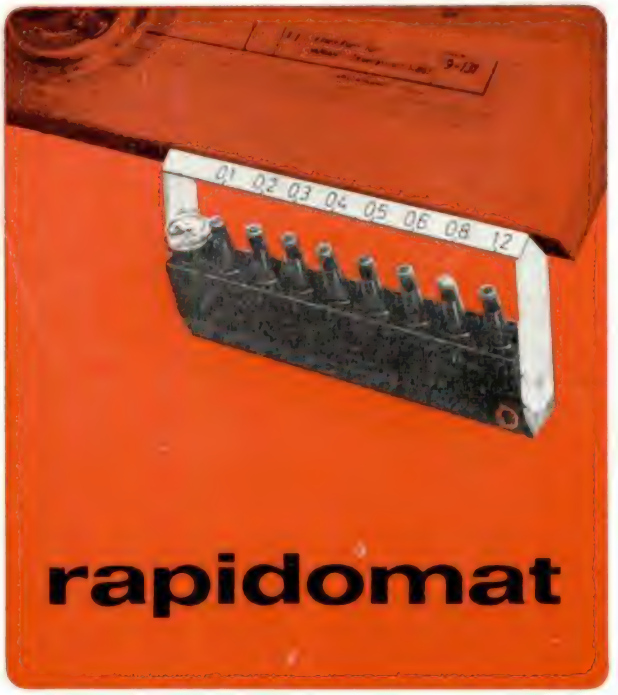
C. D. U. 620.199 : 658.562 = 3

Nuevos metodos de medida en la investigacion de la corrosión — *A. Matling y M. Lajain.*
CENIN, 2-71, vol. 7, n ° 1, pág. 23.

C. D. U. 620.97 : 550.367 (469.9)

As possibilidades de aproveitamento da energia geotérmica nos Açores — *G. Zbyszewski*
Boletim de Minas, Jul/Set 70, vol. 7, n.° 3, pág. 191.

a nova ideia



da rOtring, evidentemente
para usar com os instrumentos de desenho VARIANT e VARIOSCRIPT de ponteiras intermutáveis. O novo estojo RAPIDOMAT resolve o velho problema da secagem da tinta da china. O princípio é muito simples e, portanto, seguro: a humidade contida no RAPIDOMAT evita que a tinta seque. É a melhor de todas as soluções. Cada ponteira, com o seu depósito de tinta, tem um lugar próprio. Colocando-a no respectivo orifício do RAPIDOMAT, entra na "zona de influência" deste soluto miraculoso: H_2O! Água limpa da torneira . . Uma vez por mês, deita-se mais um pouco de água no RAPIDOMAT e pode então esquecer-se o problema da tinta da china seca. Mas só se se adquirir o RAPIDOMAT — e isto é que não convém esquecer!

rOtring

À venda no comércio da especialidade
Representante: ARTUR WESTHEIMER, LDA.,
Rua Maria aos Anjos, 48, r/c., Lisboa 1

Escreva-nos pedindo o prospecto n.º 9119

C. D. U. 621.173 — .176

Installation pour l'étude de tuyères de réacteus a plusieurs flux — *G. Fasso, M. Pletin, P. Broussaud.*

Office National D'Études et de Recherches Aérospatiales, 1970, n.° 160.

C. D. U. 621.3.018

Régimes stables du paramétron fonctionnant sur le 3-ème sous — harmonique — *Gh. Cirtina.*

Bul. Inst. Pol. Din Iasi, 1970, vol. XVI, n.° 1-2, pág. 53-56.

C. D. U. 621.311

Electricity — supply distribution — *K. G. W. Bolton.*

Electronics & Power, 4-70, vol. 16, n.° 4, pág. 124-128.

C. D. U. 621.311 : 614.7

Electric power generation and the environment — *James H. Wright.*

Westinghouse Engineer, 5-70, vol. 30, n.° 5, pág. 66-80.

C. D. U. 621.313.333.021.2

The operating characteristics of two — phase drag-cup induction motor controlled by varyng the angle between the axes of the stator windings — *Victor D. Savinc.*

Bul. Inst. Pol. Din Iasi, 1968, vol. 14, n.° 3-4, pág. 405-410.

C. D U. 621.314.6.027.6/.7 : 621.396.61

Redresseurs à haute tension pour les gros émetteurs — *Dick Max.*

Rev. Brown Boveri, t. 56 (1969), n.° 10, p. 510 à 519.

C. D. U. 621.315.212 : 621.315 3

Criterios para la elección de tipo en cables de aislamiento seco.

DYNA, 2-1971, n.° 2, pág. 77.

C. D. U. 621.315.615.2.011.2

Comportement de la résistivité de l'huile isolante dans un champ électrique continu — *Gänger Berthold, Maier Günther.*

Rev. Brown Boveri, t. 56 (1969), n.° 10, p. 525 à 533.

C. D. U. 621.316.925 45

Comportement des relais de distance lors de défauts a la terre sur les lignes doubles — *Ungrad Helmut e Narayan Venkat.*

Rev. Brown Boveri, t. 56 (1969), n.° 10, p. 494 à 501.

C. D. U. 621.317.784

R. F. power measurement — some solutions — *A. A. Luskow.*

Marconi Instrumentation, 5-70, vol. 12, n.° 5, pág. 86-93.

C. D. U. 621.319.339

On the investigation of voltage surges in van de graaf generators — *A. Kiss.*

Acta Physica, (Academia Húngara de Ciências), 70, vol 28, n. 1-3, pág. 135

C. D. U. 621.391.822 : 621.375 : 621.374.4

Le Bruit dans les amplificateurs paramétriques et les multiplicateurs de fréquence a varactors — *Henri Pépin.*

Office National d'Études et de Recherdres Aérospatiales, 1969, n. 144.

C. D. U. 621.74 : 620.1 : 001

Investigação — qualidade das peças fundidas — imperativos económicos — *G. Blanc.*

Fundição — A. P. F., 4-1971, n.° 50, pág. 25.

C. D. U. 621.74 : 669.131

Peças de ferro fundido para a indústria automobilística (3.ª parte). — *N. Sugiyama.*

Fundição, 1971, n.° 48, pág. 33.

C. D. U. 621.746.583 : 669.18.046.517 = 6

Desgasificación del acero en vacio en naval - Reinosa — *S. Fernández.*

Cenim, 13-4-70, vol. 6, n.° 2 pág. 213.

C. D. U. 621.791.75.019 : 621.3.035.2 = 6

Estudio sobre los gases contenidos en el soldadura por arco y la microfisuración — *Inés Garcia ; L. Mompean ; J. Sistiaga.*

Cenim — 12-1970, vol. 6, n.° 6, pág. 587.

C. D. U. 622.67-523.8 : 621.374

Un indicateur numérique de position pour machines d'extraction — *Wolf Peter.*

Rev. Brown Boveri, t. 56 (1969), n.° 10, p. 520 a 524.

C. D. U. 624.04 : 512.83

Estudio del pandeo de reticulados y porticos mediante matrices de rigidez secundarias — *Alberto A. Puppo.*

Ciencia y Técnica, vol. 137, n.° 692, pág. 9 a 41.

C. D. U. 624.057.528

Coffrages glissants I — Recommandations pour la Conception et l'utilisations des Coffrages Glissants II — Réalisations d'Ouvrages a l'aide de Coffrages Glissants (2.ª parte) — *M. Adam*

Annales de l'Inst. du Bat. et des Tr. Publics, 9-71, n.° 281, pág. 57-79.

C. D. U. 624.07 |012.4|4.6 (083.74)

Regles Applicables a la construction des Tours en Béton Armé.

Annales I. T. B. T. P., 5-7-71, n.° 281, pág. 121-136.

C. D. U. 624.131.25 : 539.37 38 : 624.131.388

New Techniques in deformability Testing of «in situ» Rock Masses — *Manuel Rocha.*

Memória do L. N. E. C., n.° 368.

C. D. U. 625.088 : 691.3

Importância de la construcción de pavimentos de hormigón en la Argentina — Pavimentos urbanos de hormigón de cemento portland.

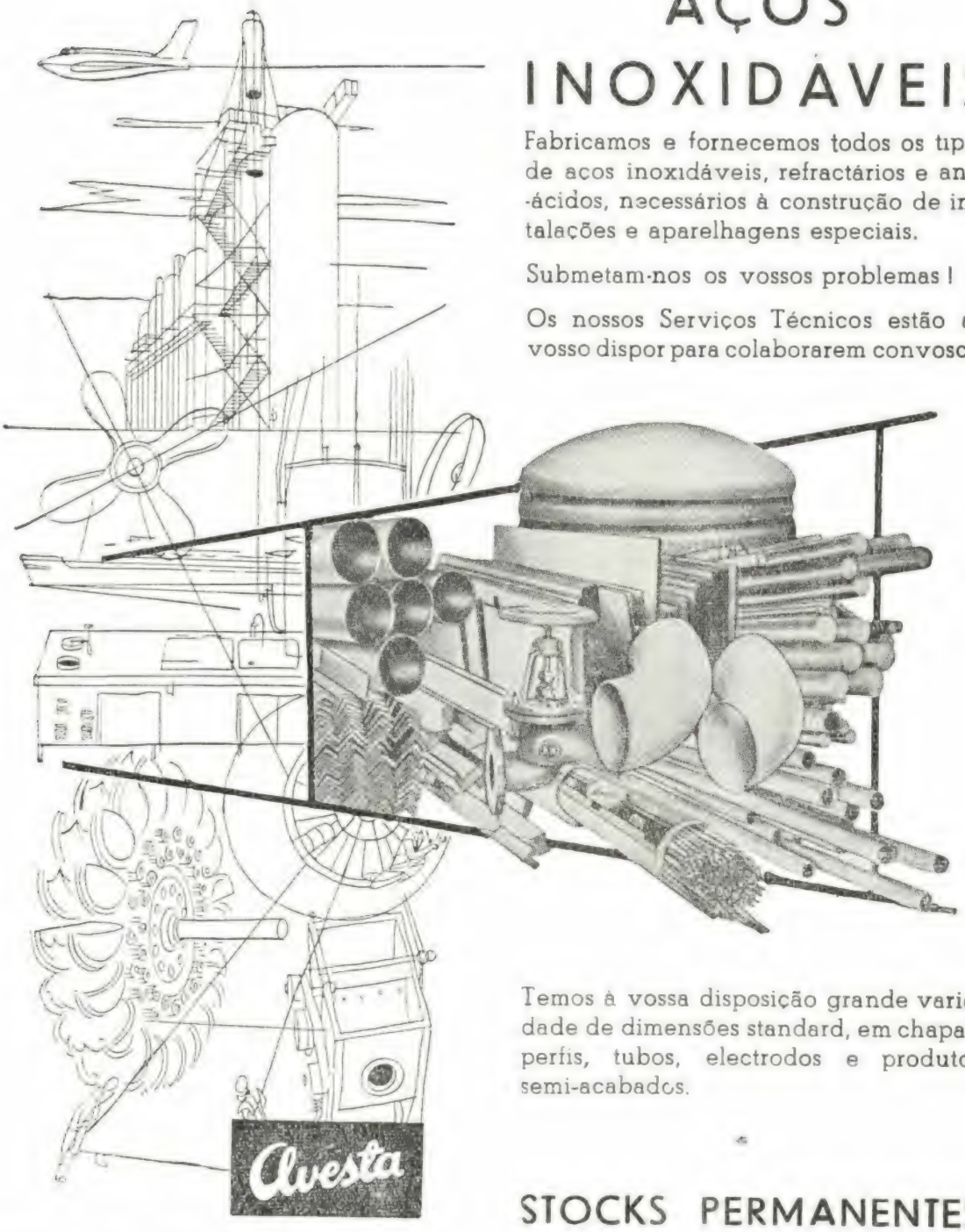
Cemento Hormigón, 5-71, n.° 446, pág. 401-415.

AÇOS INOXIDÁVEIS

Fabricamos e fornecemos todos os tipos de aços inoxidáveis, refractários e anti-ácidos, necessários à construção de instalações e aparelhagens especiais.

Submetam-nos os vossos problemas!

Os nossos Serviços Técnicos estão ao vosso dispor para colaborarem convosco.



Temos à vossa disposição grande variedade de dimensões standard, em chapas, perfis, tubos, electrodos e produtos semi-acabados.

STOCKS PERMANENTES

AVESTA JERNVERKS AKTIEBOLAG
AVESTA — SUÉCIA

Representantes Exclusivos para Portugal e Ultramar:

A. JOHNSON & Co (PORTUGAL), L.DA

SEDE EM LISBOA:
Praça José Fontana, 11-1.º
Telef. 537015-537016-537017-537018

FILIAL NO PORTO:
R. Dr. António Granjo, 160/168
Telef. 54666

C. D. U. 625.282 — 843.6.001.12 (47)

Developement et évolution de la traction diesal en URSS — *A. Rodouski.*

Rail International, 5-71, pág. 506-524, Tomo 5.

C. D. U. 625.37

Sistemas de control de trenes 2.ª parte — *Luis Escribá.*

Anales de Mecánica y Electricidad, 9-10-70, vol. XLVII, n.º 5, pág. 27-39.

C. D. U. 625.711.8

La Conception des Corps de Chaussés en Zone Tropicale — *G. A Liautaud.*

Annales I. T. B. T. P., 5-71, pág. 137-162, Tomo 281.

C. D. U. 628.16.067 : 96.028

Relações entre processo e concepção numa instalação de tratamento de água — *P. Brulhart.*

Rev. Tec. Sulzer, 2-5 70, vol. XVIII, n.º 3-4, pág. 69.

C. D. U. 656.2.033 (436)

Possibilité et progrès de la commande opérationnelle du trafic marchandises aux Chemins de fer Fédér aux Autrichiens — *R. Jaworski.*

Rail International, 1-71, n.º 1, pág. 27-54.

C. D. U. 656.2.037 : 656.251

La donne el les transports de porte à porte — *M. S. Parsons.*

Rail International, 1-71, n.º 1, pág. 15-25.

C. D. U. 656.713 = 20

Automated Transit System Reduces Walking in Expanding Airport — *Ralph Mason.*

Westinghouse Engineer, 1-71, pág. 8-14.

C. D. U. 669 - 12 - 13

Contribution a l'etude de l'écrouissage des matériaux métalliques — *Yves Morchoisne.*

Office National d'études et de Recherches Aérospatiales, 1970, n.º 158.

C. D. U. 669.054 2

La Fusion baja Vacio de los Aceros Especiales — *José M. Palacios Reparaz.*

DYNA, 6-70, vol. XLV, n.º 6, pág. 237.

C. D. U. 669.14.018.853.4 = 6

Aceros para válvulas de motores de explosión — *A. M. Aksoy, H. Alonso y J. M. Palacios.*

Cenim, 3-4-70, vol. 2, n.º 6, pág. 175.

C. D. U. 669 18 — 982 046.517 = 6

Estudios sobre cinética de la desgasificación en vacío del hierro y del acero fundios — *J. Calvo.*

Cenim, 12-1970, vol. 6, n.º 6, pág. 622.

C. D. U. 669.187.012 : 669.141.67 = 2

La prerreducción del mineral de hierro y la fabricación moderna de acero: Implicaciones para la industria española del acero — *J. R. Miller.*

Cenim, 7, 8-70, vol. 6, n.º 4, pág. 429.

C. D. U. 681.2 : 621.391.3

Mesure du facteur de transmission total de stratifiés résine phénolique et tissus de silice — *Balageas.*

O. N. E. R. A., 56-969, n.º 130.

C. D. U. 681.3.071

Elaboración directa de comprobantes — *Joachim Kleinecke.*

AEG-Telefunken al dia, 1970, n.º 2, pág. 79-82.

C. D. U. 681.32

Etude des méthodes de régulation numérique — *H. Dang Mien.*

Electricité de France, 4.º-t 1970, n.º 4, pág. 117-132.

C. D. U. 681.624 : 621.313.13

Accionamentos eléctricos de máquinas rotativas — *Fritz Bändel y Raimar Hölter.*

AEG-Telefunken al dia, 1969, n.º 4, pág. 144-146.

C. D. U. 691.327 : 620.193

Corrosion de Armaduras de Hormigan — *D. José Calleja Carrete.*

Instituto del Cemento Portland Argentino, 1971, n.º 55.

C. D. U. 691.328 : 69.007.13 : 699.81

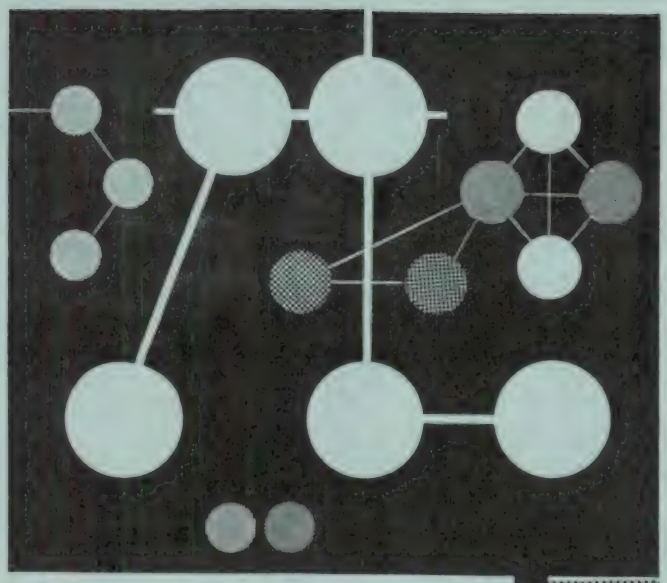
Resistencia al fuego de elementos estructurales prefabricados de hormigón armado — *Mociej-Ziolek.*

Informes de la construccion, 4-971, n.º 229, pág. 75-83.

C. D. U. 72.01

Caractères Spécifiques de L'urbanisme Parisien — *André Roussilhe.*

Annales de L'Inst. Techn. du Batiment et des Travaux Publics, 11-970, n.º 275, pág. 137-164.



Ar, oxigénio, azoto
hidrogénio, comprimidos
e liquefeitos.
Argon, gases raros extraídos
do ar.
Gases especiais e mistura
de gases.
Soldadura oxi-acetilénica,
oxi-corte.
Soldadura por arco eléctrico.
Equipamentos para a soldadura
em atmosfera de gás inerte
e CO_2, semi-automática e automática.
Metais e equipamentos para
Metalização.

ARLIQUIDO

FÁBRICAS:
LISBOA
PORTO
MAIA
ÁGUEDA
SETÚBAL
PONTA DELGADA

Meio século de experiência

DEPÓSITOS EM:
AVEIRO
BEJA
BRAGA
COIMBRA
ÉVORA
FUNCHAL
TORRES NOVAS
VISEU

Metalúrgica Central da Trofa, L.da

FUNDIÇÃO DE METAIS

TORNEIRAS

OFA

M. R.

FABRICANTES E ARMAZENISTAS

Autoclismos «CARAVELA» e «TEJO»; Bombas de câmaras de ar; Válvulas chupadoras; Adufas; Junções; Material para adega e todo o tipo de acessórios para tubos plásticos, etc.

APARTADO 5 — TELEFONE, 9 45 87

TROFA — MINHO

TABELAS PARA O CÁLCULO DE BETÃO ARMADO

por

Brazão Farinha e Mexia Heitor

Preço 250$00
Desconto de 10% aos assinantes

PEDIDOS À

técnica

BETÃO LIZ

FORNECIDO NO LOCAL DAS OBRAS
COM A COMPOSIÇÃO REQUERIDA
E NA HORA EXACTA.

SERVIÇO EFICIENTE.

COBERTURA TOTAL DO MERCADO.

UM PRODUTO DA DIVISÃO DE BETÃO
DA

EMPREZA DE CIMENTOS DE LEIRIA

S.A.R.L.

CENTRAIS EM LISBOA E PORTO

LISBOA:
Tels. 31 30 31/32

PORTO:
Tels. 95 13 23/24

LISTA CLASSIFICADA DE ANÚNCIOS

Neste número continua a «Técnica» a sua secção de publicidade — a *lista classificada de anúncios* — destinada a facilitar a procura por parte dos clientes.

CONSTRUÇÃO CIVIL

CONSTRUTORES CIVIS

— **Construções Técnicas, Lda.**
P. do Município, 13-3.º — Tel. 36 65 06

— **Soc. Const. Amadeu Gaudencio, Ld.ª**
R. Dr. Alexandre Braga, 4-A — Lisboa
Telef. 4 31 91 — 92 — 93.

— **Soc. de Pré-Fabricação e Obras Gerais Novobra**
Av. Estados Unidos da América, 100-5.º D
Telef. 77 48 32 / 76 64 46 — Lisboa 5

— **Somague**
Rua Carlos Testa, 1 — Lisboa

ESCAVADORAS E TRACTORES

— **Guedes & Almeida**
Rua Aurea, 181-2.º — Tel. 32 78 45 — Lisboa 2

FUNDAÇÕES E SONDAGENS

Construções Técnicas, Lda.
Pr. do Município, 13-3.º — Tel. 36 65 06

— **Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ld.ª**
Av. da República, 42-8.º
Telef. 77 70 86/7 e 77 12 65 — Lisboa

— **Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações**
Travessa do Guarda-Mor, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56 — Lisboa — Luanda — Lourenço Marques — Beira

— **Fundações Franki, Lda.**
R. Braamcamp, 13-3.º — Lisboa — Tel. 53 41 12.

— **Johann Keller**
Av. Costa Pinto, 8-1.º Esq. - Cascais - Tel. 28 44 21

— **Sondagens e Fundações, A. Cavaco, Lda.**
R. Rodrigo da Fonseca, 62-r/c — Lisboa 1
Tel. 56 11 71/72/73.

— **Sondagens Ródio**
Rua de S. Bento, 644-3.º — Lisboa
Tel. 68 80 96/7/8

— **Sopecate**
R. do Arsenal, 146, 2.º — Lisboa.
Tel. 3 40 10 - 32 02 08

INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

— **Wild Portugal, Ld.ª**
Praça das Águas Livres, 8, s/l 6 — Lisboa 2 — Tel. 68 91 12.

ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

ISOLA
Avenida António Augusto de Aguiar, 17-2.º
Tel- 53 71 91 — Lisboa.

CONSTRUÇÕES METALO-MECANICAS

— **COMETNA** — R. Academia de Ciências, 5 — — Lisboa — Tel. 32 00 01

— **Construções Metalo-mecânicas MAGUE Ld.ª** — Alverca

— **SEPSA - Sociedade Construções Electro-Mecânicas** — Leça do Balio

— **Sociedade Industrial Metalúrgica**
R. de S. Tiago, 1

— **Metalúrgica Central da Trofa, Ld.ª**
Trofa — Minho — Telef. 9 45 87

EQUIPAMENTO ELECTRICO

— **Construções Eléctricas Schréder, Ltd.**
Pr. José Fontana, 25-3.º E. — Tel. 56 10 01/2/3 — Lx.

— **Electrotécnicos Reunidos**
Avenida João XXI, 64 — Lisboa.

— **Frapil**
Cais de S. Roque — Aveiro

— **Isolux, Lda.**
Largo do Campo Pequeno, 21, 4.º Esq.
Telef. 77 00 30/8/9 — Lisboa
Rua Dr. Alfredo Magalhães, 110, 2.º D.
Telef. 2 07 23 — Porto

— **J. F. de Azevedo e Silva & C.ª, Ld.ª**
Rua S. Francisco Sales, 2, 1.º — Tel. 65 41 65
Lisboa.

— **J. Roma**
Praça da Figueira, 86/51/2/3 — Lx.

— **Jayme da Costa, Ld.ª**
R. dos Correeiros, 14 — Lisboa — Tel. 32 70 35
Praça da Batalha, 12 — Porto — Tel. 2 28 12.
Cx. Postal 5174 — Luanda — Tel. 47 43.

— **Plessey Automática Eléctrica Portuguesa**
Avenida Infante D. Henrique, 333 — Lisboa.

— **Siemens — Companhia de Electricidade**
Avenida Almirante Reis, 65
Telef. 53 69 21/0 — Lisboa

— **Soc. de Elec. Brown Boveri**
Rua Sá da Bandeira, 481-2.º
Telef 2 34 11 — Porto

— **SEPSA - Sociedade Construções Electro-Mecânicas** — Leça do Balio

— **Standard Electrica**
Av. da Índia — Tel. 63 81 71 — Lx.

DISTRIBUIÇAO DE ENERGIA

— **União Eléctrica Portuguesa**
R. Alexandre Herculano, 244 — Porto
Tel. 2 76 76/9
Rua Rosa Araújo, 35
Lisboa — Telef. 53 11 81/7

COMPUTADORES

— **Eficex Kienzle**
Av. João XXI, 4-A — Tel. 72 70 28-72 70 19-Lisboa
— **Time — Sharing, S.A.R.L.**
Av. 5 de Outubro, 95-3.º — Tel. 76 95 51 — Lisboa

ELÉCTRODOS

— **Electro-Arco, Ld.ª**
R. Silva Carvalho, 230 — Lisboa — Tel. 68 36 46
R. do Bolhão, 216 — Porto — Tel. 2 12 77.

ISOLAMENTOS

— **Empresa Electro-Cerâmica, S.A.R.L.**
L. Barão de Quintela.

SOLDADURAS

— **Electro Arco**
R. Silva Carvalho, 239 — Lisboa
R. do Bolhão, 216 — Porto
— **J. Roma**
Praça da Figueira, 86/51/2/3 — Lisboa

TELECOMUNICAÇÕES

— **Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos, S.A.R.L.**
R. Rodrigo da Fonseca, 110, r/c — Lisboa — Tel. 68 60 72.
R. Sá da Bandeira, 766-1.º E — Porto — Tel. 2 48 18
— **Standard Electrica**
Av. Índia — Tel. 63 81 71 — Lisboa
— **Plessey Automática Eléctrica Portuguesa**
Avenida Infante D. Henrique, 333 — Lisboa.

EQUIPAMENTO INDUSTRIAL

— **COMETNA**
R. Academia de Ciências, 5 — Tel. 32 00 11
— **Construções Metalo-Mecânicas Mague, Lda.** — Alverca do Ribatejo
— **Guedes & Almeida, Lda,**
R. Aurea, 181-2.º — Tel. 32 78 45 — Lisboa
— **Hydrel**
Rua do Alecrim, 47-A-B — Tel. 32 57 00-3 59 66-Lx.
— **Sociedade Comercial Romar**
Rua da Boavista, 83-1.º — Lisboa
— **Sociedade Portuguesa Ar Líquido**
Quinta do Almargem — Junqueira — Lisboa

CORRENTES

— **Auto-Lusitana**
Av. da Liberdade, 73-79 — Lisboa
— **Harker Sumner**
L. do Corpo Santo, 18 — Tel. 32 48 23 — Lisboa
— **S. K. F.**
Rua da Alegria, 66-A — Lisboa — Tel. 36 23 01

INDÚSTRIAS QUÍMICAS

— **Hoechst Portuguesa, Ld.ª**
Avenida Sidónio Pais, 379 — Tel. 6 70 51 — Porto
Avenida Duque Ávila, 161-1.º — Tel. 4 51 41 — Lx.

GASOLINAS E ÓLEOS

— **Mobil Oil**

TÊXTEIS

— **FANAFEL — Fábrica Nacional de Feltros Industriais, Ld.ª**
Estrada de S. João — Ovar.

TINTAS

— **Mendes de Almeida**
Av. 24 de Julho, 52 — Tel. 66 77 10 — Lisboa

LIVROS TÉCNICOS

— **TÉCNICA**
Avenida Rovisco Pais — Lisboa
Tel. 77 54 49

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

AÇOS ESPECIAIS

— **A. Johnson & C.ª (Portugal), Ld.ª**
P. José Fontana, 11-1.º — Lisboa — Tel. 53 70 15/ /6/7/8.
R. Dr. António Granjo, 160/168-Porto-Tel. 5 46 69
— **Heliaço**
R. S. Julião, 41-4.º — Tel. 36 78 17 — Lisboa.

BETÃO

— **Empresa Cimentos de Leiria**
R. Braamcamp, 7 — Lisboa. — Tel. 5 91 61/66.
— **Jomatel**
Rua Sampaio Pina, 1-5.º — Lisboa — Tel. 65 41 21
— **Sociedade Portuguesa CAVAN**
R. de D. Estefânia, 94-A — Lisboa — Tel. 4 78 12 e 5 01 29.

CIMENTOS

— **AGUIAR E MELO, LDA.**
Praça do Município, 13-1.º — Tel. 32 11 51/2 Lx.
— **CIBRA — Cimentos Brancos**
Tv. do Corpo Santo, 15 — Lisboa — Tel. 32 04 64.
R. do Bonjardim, 205 — Porto — Tel. 2 57 79.
— **Empresa de Cimentos de Leiria**
R. Braamcamp, 7 — Lisboa — Tel. 5 91 61/66.
— **Secil**
R. do Comércio, 156 — Lisboa 2 — Tel. 32 82 01 2 3

MATERIAIS PRÉ ESFORÇADOS

— **Heliaço**
R. S. Julião, 41-4.º — Tel. 36 78 17 — Lisboa.
— **Soc. de Pré-fabricação e Obras Gerais Novobra, Ld.ª**
Av. E. U. da América, 100-5.º-E.
Tel. 77 48 32/ 76 64 46 — Lisboa.

ARTIGOS DE ESCRITÓRIO E ESCOLAR

MATERIAL DE DESENHO E TOPOGRÁFICO

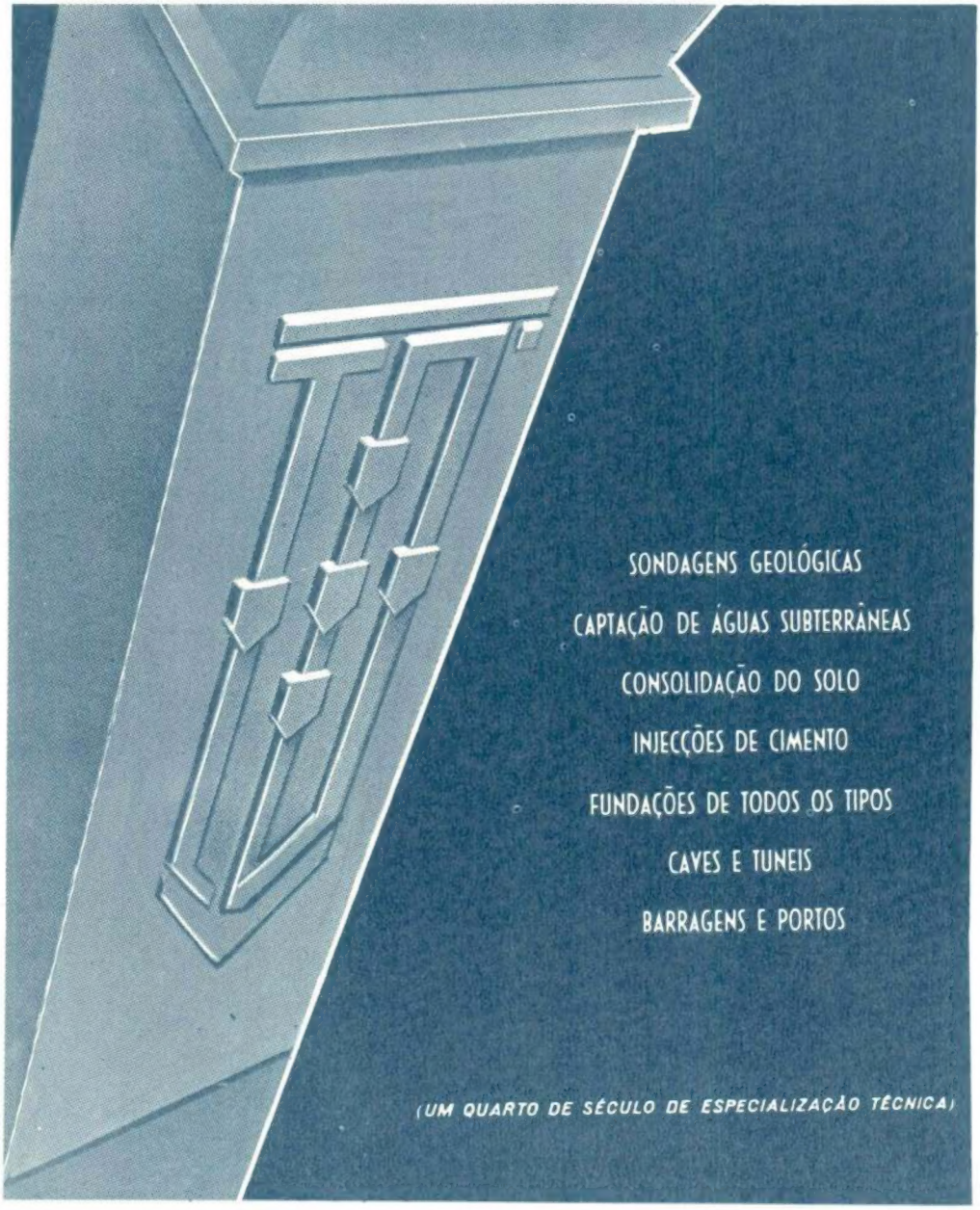
— **Rotring — Arthur Westheimer**
R. Maria aos Anjos, 48-r/c. — Lisboa
— **Wild Portugal**
Praça das Águas Livres, 8-s/l
Tel. 98 91 12 — Lisboa.

Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

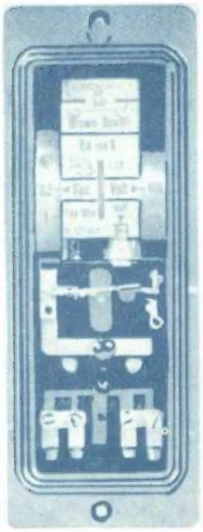
AV. DA REPÚBLICA, 42, 8.º
TELEFS. 77 70 86/7 e 77 12 65

LISBOA

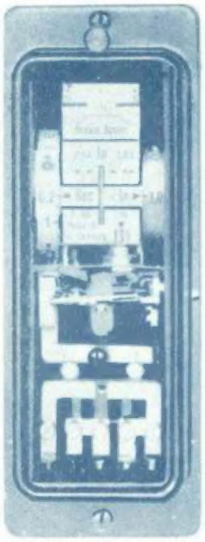


Protegei as vossas máquinas, aparelhos, e instalações, dos perigos externos e internos utilizando relés

BROWN BOVERI

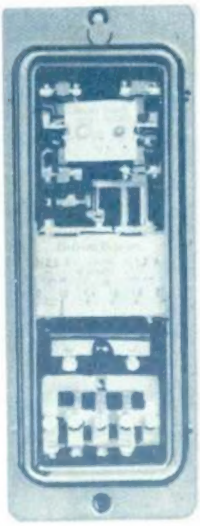


Sobretensão

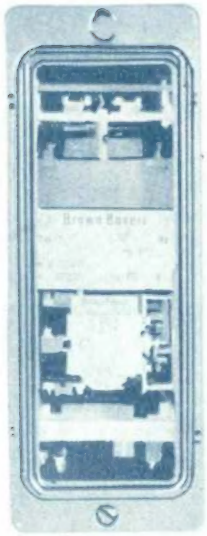


Sobrecarga curto-circuito

Sobrecarga térmico

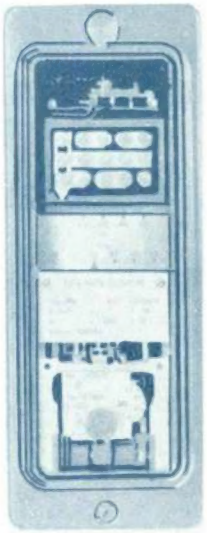


Sobrecarga instantâneo



Frequência

Cargas assimétricas



Diferencial

Terra

Os nossos Serviços Técnicos podem auxiliar a resolver os vossos problemas sobre protecções.